

Кулага Игорь Евгеньевич

Игрушки помогают изучать физику

2025

Оглавление

К читателю.....	4
1. Механика.....	6
1.1 «Стойкий жираф» (тема – Статика и строительная механика).....	6
1.2 «Неваляшка» (тема - <i>Равновесие</i>).....	9
1.3 «Стреляющие пневматические игрушки» (тема – <i>Кинематика</i>).....	11
1.4 «Клюющие дятлы» (тема - <i>Трение</i>).....	16
1.5 «Игрушечные весы» (тема – <i>Вес и масса</i>).....	18
1.6 Пропеллер на винте (тема – <i>Простые механизмы</i>).....	21
1.7 «Заводной игрушечный автомобиль» (тема – <i>Колесо</i>).....	23
1.8. «Игрушечный велосипед» (тема - <i>Экологичный транспорт</i>).....	25
1.9 «Гравитационная тележка» (Тема - <i>Вечные двигатели</i>).....	27
1.10 «Цепь Герона» (Тема - <i>Физика Античности</i>).....	30
1.11. «Магнитные оливки» (тема - <i>Энергия</i>).....	32
1.12 «Упругий прыгун» (тема – <i>Упругость</i>).....	35
1.13 «Резонансные шары» (тема - <i>Резонанс</i>).....	38
1.14 «Колыбель Ньютона» (тема – Маятник и закон сохранения энергии).....	40
1.15 «Маятниковая тележка» (тема - Инерция и закон сохранения импульса).....	42
1.16 «Игрушечный гироскоп» (тема – <i>Гироскопы</i>).....	46
1.17 «Волчок Томсона» или «Китайский волчок» (тема – <i>Центробежная сила инерции</i>)..	49
1.18 «Кубик Рубика» (Тема - <i>Вращательное движение, механизмы на его основе</i>).....	51
1.19 «Астродржекс» (Тема - <i>Момент импульса</i>).....	54
1.20. «Игрушечная ракета» (тема – <i>Реактивное движение</i>).....	57
2. Жидкости и газы.....	60
2.1 «Несмешиваемые жидкости» (тема – <i>Агрегатные состояния вещества</i>).....	61
2.2 «Любвимер» (тема - <i>Термодинамика</i>).....	64
2.3 «Пьющая уточка» (тема - <i>Фазовые переходы</i>).....	67

2.4 «Картезианский водолаз» (тема – <i>Гидростатика</i>).....	69
2.5 «Игрушечная подводная лодка» (тема – <i>Освоение водных глубин</i>).....	72
2.6 «Заводной катер» (тема – <i>Водные движители</i>).....	76
2.7 «Игрушечный парусник» (тема - <i>Парус, хождение галсами</i>).....	80
2.8 «Планер с резиновым запуском» (тема – <i>Аэродинамика</i>).....	82
2.9 «Игрушечный самолет с толкающим винтом». (Тема – <i>Летательные аппараты</i>).....	85
2.10 «Орнитоптер» (тема - <i>Машущий полет</i>).....	88
2.11 « Цветной пропеллер» (тема - <i>Атмосфера Земли</i>).....	90
2.12 « Музыкальный молоток» (тема - <i>Физика звука</i>).....	94
2.13 «Хлопушка» (тема - <i>Звуковое восприятие</i>).....	97
2.14 «Игрушечная вувузела» (тема - <i>Мощность звука</i>).....	100
2.15 «Игрушечные гусли» (тема - <i>Источники звука</i>).....	102
3. Электричество.....	103
3.1 « Генератор Ван де Граафа» (тема - <i>Электростатика</i>).....	104
3.2 «Игрушечный радиоуправляемый автомобиль» (тема - <i>Радиосвязь</i>).....	108
3.3 «Вертолет с автоматическим управлением» (тема – <i>Автоматические системы управления</i>).....	112
3.4 «Жук на солнечной батарее» (тема - <i>Фотоэлектричество</i>).....	116
4. Оптика.....	117
4.1 «Лазерный тир» (тема - <i>Электромагнитная природа света</i>).....	118
4.2. «Калейдоскоп» (тема - <i>Геометрическая оптика</i>).....	126
5. Самодельные игрушки.....	128
5.1 Планер из полиэтиленовой пленки и соломинок для коктейля.....	129
5.2 Прецессирующий гироскоп из пластиковой пробки.....	133
5.3 Картонная коробочка и сила трения.....	136
5.4 Безмоторная кордовая модель самолета.....	140
5.5 Парусник из пенопласта.....	143
5.6 Баллиста из донышка от пластиковой бутылки.....	148

5.7 Резиномотронная подводная лодка из пластиковой бутылки с автоматом всплытия из кусочка сахара.....	152
5.8 Пневматический стреломет из пластиковой бутылки.....	157
5.9 Самодельный картезианский водолаз.....	159
5.10 Астроджекс из шариков для пинг-понга.....	161
5.11 Гидропресс из медицинских шприцев.....	163
5.12. Демонстрация закона Паскаля при помощи шприца и пипетки.....	165
5.13 Воздушная пушка из пластиковой банки.....	167
5.14. Звучащая турбулентность.....	169
Литература.....	172

К читателю

Вряд ли кем-то может быть оспорена мысль Аристотеля о том, что «познание начинается с удивления». Не вызывает сомнения и то, что память каждого из нас сохранила детские ощущения восторга и удивления от знакомства с новой и незнакомой игрушкой. И безусловно такие ощущения вызывали необычные игрушки, принцип работы которых был не вполне понятен и скрывался в каком-нибудь законе природы или явлении. Подобные игрушки сегодня принято относить к разряду так называемых «научных игрушек», они интересны тем, что на первый взгляд не совсем очевидно, каким образом и за счет чего они движутся, как и почему издают звуки или для чего они вообще предназначены. Неочевидность и парадоксальность подобных игрушек всегда вызывает стремление разобраться в чем же там дело, а здесь уже начинается познавательный, исследовательский процесс.

Эту исключительно важную особенность игрушек было бы большой ошибкой не использовать в процессе обучения для придания ему наглядности и увлекательности. Научные игрушки, как никакие другие наглядные пособия, позволяют сделать удивительным и привлекательным процесс изучения как самых простых, изначальных, так и очень сложных физических закономерностей.

Наверно впервые методику использования игрушек в процессе школьного образования стал широко использовать в 70-х годах прошлого века в России профессор Российского Государственного Геологоразведочного Университета Николай Николаевич Соколов (24.05.1942 - 28.05.2017 г.г.). Его интерактивные лекции-демонстрации в Московском Политехническом музее привлекали многочисленную аудиторию и пользовались неслучайным успехом. Сегодня методики, предложенные Соколовым, уже весьма широко применяются заинтересованными преподавателями физики в школах и других наиболее прогрессивных учебных заведениях.

Научные игрушки охватывают практически все разделы физики, и в любом каталоге игрушек наверняка обнаружится рубрика с «научными игрушками», а их ассортимент бурно расширяется. Однако при огромном количестве рекламного материала сведения о научном содержании или практическом использовании технических особенностей по той или иной игрушке можно обнаружить весьма в ограниченном объеме. Возможно в определенной степени исправить сложившуюся ситуацию поможет эта книга, в которой для более четырех десятков занимательных игрушек изложена связанная с ними информация по тому или иному разделу физики, материалы научно-технического характера, а также сведения по истории открытий и изобретательства в данной тематике. Все описываемые игрушки изготовлены промышленным способом и их, при желании, всегда можно найти в магазинах. Помимо этих игрушек, для повышения занимательности привлекательности процесса обучения, в этих же магазинах можно найти и купить игрушечные наборы и конструкторы, позволяющие проводить как в школе, так и в домашних условиях не только относительно простые, но и достаточно сложные опыты и эксперименты по физике, химии, биологии и др.

Впрочем, для повышения интереса к процессу обучения и увлеченности в нем вовсе не обязательно использовать только те игрушки или игровые наборы, которые разработаны именно с такой целью, признаны научными "официально" и явно связанные с изучаемой тематикой. Практически любая игрушка может быть использована с подобной целью. Даже длинноногая кукла «Барби», которая на первый взгляд никак связана с физикой, сможет помочь привлечь внимание к ней, если на примере шарниров в ее руках и ногах начать рассказ о теме простейших механизмов в механике.

При этом верно и обратное - для объяснения любого, порой совсем непростого физического закона или явления всегда можно подобрать такую игрушку, которая

поможет вызвать интерес к данной теме и послужить эффективным наглядным пособием. Например, квантовая механика наука сугубо абстрактная, о каком-либо наглядном пособии, казалось бы, здесь и речи не может быть. Однако подбросив в воздух два неодимовых магнитных шарика, а именно так с ними обычно играют дети, можно рассказать, что в основе силы их притяжения лежит движение электронов и это уже начало объяснения электромагнитных явлений с позиций квантовой механики, при этом первичные интерес и внимание будут наверняка завоеваны. В то же время нельзя и увлекаться, затягивать непрерывные объяснения, каждые две - три минуты придётся снова подбрасывать магниты и, связывая с ними свои теоретические выкладки, возвращать тающий вовремя достаточно непростых объяснений интерес.

Однако все покупные игрушки почему-то склонны очень быстро ломаться и многие из нас в детстве, что могли, мастерили сами. Это обстоятельство с немалой пользой можно использовать в образовательном процессе. Сегодня в интернете можно найти множество видео роликов, где показан процесс изготовления самых разнообразных игрушек самоделок, весьма занятных по устройству и любопытных по принципу работы. Многие из них совсем просты в изготовлении, причем из самых бросовых и доступных материалов и к тому же многое можно додумать самому. В книге приведено пошаговое описание изготовления двенадцати таких самоделок.

Принципиально важно здесь то, что в процессе совместной работы над ними и последующих испытаний, родители или педагоги смогут немало рассказать детям о физическом принципе работы игрушки, о практической значимости ее прототипа, об истории изобретения... и много еще о чем интересном. Такое совместное творчество наверняка надолго запомнится Вашим подопечным.

1. Механика

1.1 «Стойкий жираф» (тема – Статика и строительная механика)



Фото 1

Стилизованную фигурку жирафа, показанную на фото 1 можно отнести к классу игрушек, которые известны как марионетки. История появления марионеток восходит к временам древнего Египта и античной Греции, уже тогда в театральных представлениях, использовались хитроумные куклы – марионетки – приводимые кукловодом в движение с помощью веревок, палочек из дерева или металлических проволок. Само название «марионетка» появилось гораздо позже, когда в средние века в народе очень любимыми были куклы, изображавшие Деву Марию, и которым нередко давались уменьшительные имена Marion, Mariotte, Mariolle и др. Существует также мнение, что это название куклы получили в Италии по имени кукольного мастера XVI века Мариони.

«Стойкий жираф» имеет весьма существенное отличие от традиционных марионеток. В театральных куклах большинство нитей обычно висят свободно и во время представления, кукловод ведет сюжетную линию жизни куклы, натягивая те или иные из них. У игрушечного жирафа ноги и шея состоят из бусин, нанизанных на нити, которые постоянно натянуты сжатой пружиной, спрятанной в полое основание, и он, будучи предоставлен сам себе, всегда будет сохранять устойчивое положение.

Необычность и привлекательность игрушки состоит в том, что, если незаметно нажать большим пальцем на круглую пластину в основании, натяжение нити ослабляется, сжатые бусины освобождаются, и фигурка жирафа падает, а убрав палец с пластины пружины можно его можно опять «оживить» и привести в устойчивое состояние.

С точки зрения физики игрушка интересна тем, что с ее помощью можно рассказать о *статике*, первом из трех главных разделов *механики* - той области физики, где изучаются общие законы движения (*кинематика*) и взаимодействия (*динамика*) материальных тел.

При изучении статики рассматривается действие различных сил на неподвижные твердые тела, наличие условий необходимых для сохранения такой неподвижности, а равновесие в поле гравитации. Двумя другими разделами механики являются *кинематика*, изучающая движение материальных тел без учета действующих на них сил, и *динамика* - основной и наиболее общий раздел механики, в котором изучается уже именно то, как именно силы заставляют двигаться материальные тела.

Все три раздела механики составляют основу *теоретической механики* - базового курса физики, с которого начинается изучение этой науки в высших научных заведениях. Более подробно статика изучается в курсе высших учебных заведений - *строительной механике*, специальном предмете, обязательном для изучения будущими специалистами в области строительства. И здесь стоит вновь обратиться к нашей игрушке, у которой в кажущейся простоте скрыт принцип работы основного элемента всех современных зданий и сооружений - предварительно напряженных строительных конструкций.

Строительство – одна из древнейших сфер деятельности человека, таких как охота, собирательство, земледелие или войны. Всегда человеку нужно было иметь убежище от диких зверей, непогоды или враждебных племен. Первыми многочисленными и достаточно хорошо изученными искусственными жилыми сооружениями человек являются постройки раннего каменного века - палеолита, датируемые временем 50-24 тыс. лет до нашей эры. Это были сооружения типа шалашей или навесов над углубленной и выровненной почвой на равнинной местности. В гористых местах люди тогда жили чаще всего в естественных пещерах, стены которых, зачастую были украшены удивительно изящной наскальной живописью, о чем свидетельствуют многочисленные находки.

В среднем каменном веке – мезолите, уже появляются каменные постройки, древнейшей из которых считается храмовый комплекс Гобекли-Тепе, обнаруженный археологами при раскопках в современной Турции, недалеко от границы с Сирией, возраст, которого оценивается примерно в 12 тысяч лет. Это строение, наряду с многочисленными погребальными сооружениями позднего каменного века - неолита, и эпохи бронзы, сегодня известны как мегалитические постройки. Сегодня неизменно вызывают удивление тем, как именно строились *мегалиты* - конструкции из очень больших каменных блоков, вес которых достигал 50 тонн и более. Все мегалитические постройки возводились из каменных блоков, никак не скрепленных между собой, и представляли собой единое целое лишь за счет собственного веса.

Следует заметить, что история затвердевающей при высыхании влажной смеси извести и глины насчитывает около 6-ти тысячелетий. Самый ранний из найденных археологами бетоноподобный материал возрастом около 5600 лет до н.э. был использован при устройстве пола толщиной около 25 сантиметров в хижине Придунайского поселка Лапенски Вир на территории современной Югославии. Выдающийся Римский зодчий Марк Витрувий Поллин (первая половина нашей эры, точные даты жизни и смерти не сохранились) оставил нам описание пуццоланового цемента, твердеющего под водой, и дал рекомендации о том, как его применять при строительстве бетонных причалов и морских дамб.

Обычный бетон представляет собой смесь связующего вещества песка и камня, в наши дни в качестве связующего обычно применяется портландцемент. В древнеримском бетоне это была смесь извести с истолченными порошками пемзы, керамики и пуццолана. Многие сооружения из древнеримского бетона сохранились до наших дней, так, например арочный купол знаменитого Пантеона, храма посвященного древнеримским богам восстановленного по указанию императора Траяна в 126 году после пожара случившегося в 110 году, причем это был уже второй после пожара в 80 году нашей эры.

Сегодня доподлинно неизвестно какими расчетами руководствовались античные архитекторы при возведении таких сложных в конструктивном отношении сооружений. Но все же сохранились отдельные письменные источники того времени с проектной документацией, где приводятся точные подсчеты времени строительства того или иного

объекта, необходимых материалов, трудозатрат и денежных средств. В среде ученых существует точка зрения, согласной которой расчеты прочности античных купольных перекрытий, пролетов арочных мостов и акведуков и всех прочих элементов зданий и сооружений не проводились вовсе. Считается, что все постройки древней Греции и Рима были возведены исключительно благодаря интуиции, на практической базе метода проб и ошибок - конечно, не только своих, но многих предшествующих поколений - зодчих древнего Египта, Ассирии, Вавилона и более ранних цивилизаций. И все же существование определенного свода правил и математических расчетов геометрии сооружений, пусть и без расчета напряженных состояний материала построек, наверняка были уже и тогда.

Основоположником современной теоретической базы строительной механики сегодня считается Галилео Галилей (1564 -1642 г.г.), изучая изменение прочности морских судов при увеличении их размеров, он заложил основы новой для своего времени науки о сопротивлении материалов действующим нагрузкам. В конце 19 века была решена в основном главная задача строительной механики – строители научились точно рассчитывать внутренние усилия в любом элементе строительной конструкции и их возможные относительные смещения под нагрузкой. Это позволило широко развернуть строительство жилых и промышленных зданий, автомобильных и шоссейных дорог, мостов, плотин и других сложных инженерных сооружений.

Бурному росту строительной индустрии в огромной степени способствовало также применение нового строительного материала – железобетона, представляющего собой обычный бетон, армированный железными прутьями и проволокой. Обычный бетон плохо сопротивляется изгибающим нагрузкам и хорошо работает на сжатие, поэтому он обычно применяется в фундаментах, стенах, колоннах и аналогичных строительных конструкциях. Хорошо растягиваемое железо позволяет бетону работать и на изгиб, это дает возможность изготавливать из него всевозможные фермы, перекрытия, балки и консоли.

Повсеместное и масштабное применение железобетона в начале 20-го столетия вызвало необходимость очередного их усовершенствования с тем, чтобы заставить воспринимать не только изгибающие нагрузки, но и работать на растяжение. Эту задачу позволило решить оригинальное изобретение - при изготовлении железобетонной конструкции в форму для заливки жидкой бетонной смеси укладываются стальные струны или арматурные стержни, натянутые специальным устройством и только потом укладывается бетонная смесь. После застывания бетона сила предварительного натяжения арматуры передаётся окружающему бетону, и он оказывается сжатым. Такое создание предварительно сжатой конструкции позволяет за счет ее растяжения в процессе эксплуатации намного снизить растягивающие усилия на бетон. Сегодня предварительно напряжённый железобетон повсеместно используется при возведении мостов, высотных зданий, защитных корпусов ядерных реакторов и строений в зонах с высокой опасностью землетрясений.

Возвращаясь к игрушечному жирафу, можно легко заметить, что его вытянутый вверх силуэт имеет немалое внешнее сходство с устремленной в небо Останкинской телебашней в Москве, при этом жираф обладает устойчивостью благодаря одинаковому с телебашней конструктивному исполнению. Если, обеспечивая устойчивость жирафа, бусины его ног и шеи находятся в сжатом состоянии благодаря проходящим сквозь них натянутым пружиной нитям, то в телебашне сжимают ее железобетонную оболочку натянутые специальными механизмами стальные тросы общим числом 149 штук. Тросы симметрично располагаются внутри башни в 50-ти миллиметрах от железобетонного корпуса и обеспечивают суммарное усилие более 10 тысяч тонн. Такая конструкция телебашни высотой 540 метров и диаметром основания всего в 60,6 метра рассчитана на устойчивость при землетрясении даже в восемь баллов по шкале Рихтера и ураганном ветре со скоростью 44 метра в секунду.

1.2 «Неваляшка» (тема - *Равновесие*)



Фото 2

Скорее всего эту игрушку изобрели Японии. Точное время ее появления не известно, но уже давным давно там называют ее «Дарума». Аналогичная игрушка в России известна уже более 200 лет как «Неваляшка», см. фото 2, по другому её еще называют «Ванька - Встанька». Все такие игрушки устроены по одному и тому же принципу - они имеют близкое к сферическому основание и центр тяжести, находящийся ниже центра кривизны основания. Такое устройство обеспечивает возвращение игрушки в положение устойчивого равновесия после всякой попытки отклонить игрушку на любой угол и в любую сторону.

С помощью этой игрушки в теоретической механике достаточно наглядно раскрывается тема раздела статики *«равновесие и устойчивость твердых тел»*. Строгое определение условия равновесия в механике формулируется следующим образом: «в общем случае равновесие тел сохраняется при выполнении двух условий - равенство нулю векторной суммы всех внешних сил, а также *моментов сил* (произведение величины силы на расстояние от точки ее приложения до точки опоры), действующих на рассматриваемое тело». Математически это условие записывается, как $F_1 + F_2 + \dots + F_n = 0$ и $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$.

Существует и иная, несколько упрощенная формулировка условия равновесия твёрдого, тела имеющего опору. Согласно ей твердое тело всегда находится в положении статического равновесия при условии, что отвесная линия, проходящая через его центр тяжести, находится в пределах площади опоры. Такая формулировка более явным образом позволяет объяснить три вида равновесия - устойчивого, неустойчивого и безразличного.

Твердое тело всегда будет сохранять *устойчивое равновесие* в том случае, если отвесная линия, опущенная из центра тяжести, проходит через площадь опоры и не совпадает с линией, ограничивающей эту площадь. Самым очевидным примером такого равновесия является куб, лежащий на столе – его центр тяжести всегда находится над площадью опоры.

Неустойчивое равновесие тело будет всегда сохранять в том случае, если что отвесная линия, опущенная из центра тяжести тела, совпадает с линией, ограничивающей площадь опоры. Максимально наглядно демонстрируют неустойчивое равновесие цирковые артисты - эквилибристы, представителями которых являются канатоходцы, поражающие нас своим умением передвигаться по натянутому канату с минимальной площадью опоры.

Безразличное равновесие тело будет всегда сохранять в том случае, если отвесная линия, проходит через его центр тяжести при любом изменении положения тела в пространстве. Типичным примером безразличного равновесия является обычное колесо или шар когда они движутся по ровной поверхности - их можно остановить в любой момент времени, и они всегда будут находиться в равновесии.

1.3 «Стреляющие пневматические игрушки» (тема – Кинематика)



Фото 3

Такие игрушки могут стрелять 6-ти миллиметровыми пластиковыми шариками - пулями, которые разгоняются струей сжатого воздуха. Давление воздуха обеспечивается предварительно сжатой от руки пружиной. Небольшая масса пульки при достаточно высокой скорости, около 40 метров в секунду, обеспечивает не очень большую энергию выстрела, менее 3 джоулей, что дает возможность не опасаться причинения вреда здоровью стрелка и окружающим. Впрочем, несмотря на малую мощность выстрела направлять игрушку на других людей или животных инструкция к игрушке категорически запрещает, а потому контроль над играющим со стороны старших или родителей необходим и обязателен. Игрушка стреляет достаточно точно, при этом увидеть пульку в полете, конечно, невозможно — это дает возможность рассказать о главном физическом понятии кинематики - скорости движения материальных объектов.

Слово "скорость" на интуитивном уровне ассоциируется с движением чего-то в пространстве, однако это слово часто используется гораздо шире. Например, в вычислительной технике используется выражение *data transfer speed* – скорость передачи данных, при которой ничего реально не движется, а выражения "скорость мысли" (*speed of thought*) или "головкружительная скорость" (*breakneck speed*) вообще можно отнести лишь к образным выражениям. Понятие скорость на бытовом уровне понимается как интенсивность изменения того или иного процесса – вода закипает быстро или медленно – скорость кипения, химические процессы могут идти быстрее или медленнее – скорость химической реакции и так далее.

Как физическое понятие, связанное с изменением положения материального тела в пространстве, определение термина «скорость» было сформулировано относительно недавно. Так во времена античности в среде выдающихся философов определение понятия «движение» вызывало ожесточенные дискуссии. Было даже философское направление, отрицавшее возможность движения как такового. Несмотря на всю абсурдность этого направления, сегодня широко известен парадокс о черепахе и Ахиллесе автором которого является Зенон Элейский (V век до нашей эры). В этом парадоксе утверждается, что даже если Ахиллес бежит в сотню раз быстрее, чем движется черепаха, то, находясь изначально позади от неё в сотне метров, он не сможет догнать ползущую от

него черепаха. Объясняется это так – пока Ахиллес пробежит сто метров, черепаха уползёт от него на один метр, и это будет расстояние между ними. Если Ахиллес продвинется вперед еще на один метр, то черепаха тоже проползет вперед на один сантиметр, и опять между ними будет, хотя и очень маленькое, но расстояние. Ахиллес еще вперед, черепаха тоже - и так до бесконечности. Расстояние между ними будет все время сокращаться, но догнать ползущую черепаха нельзя, поскольку нет предела делению единиц времени и расстояния. Конечно, на практике парадокс себя не оправдывает, поскольку категории времени и пространства дискретны, т.е. имеют вполне однозначные, имеющие строго определенную физическую природу - интервалы.

В античные времена еще не было принятой сегодня математической записи скорости как расстояния, деленного на время. Тогда, оценивая скорость движения, только сравнивали либо расстояния, пройденные за одинаковые промежутки времени, либо наоборот – времена, необходимые для преодоления одного и того же расстояния. Великий Аристотель дает определение для равномерного движения, как движение, при котором «тела в равные времена проходят одинаковые расстояния».

Исаак Ньютон (1642—1727 г.г.) в 1665—1666 годах и независимо от него Лейбниц в 1675 года разрабатывают математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, появляться современное толкование понятия мгновенной скорости как расстояния пройденного за единицу времени. В прямолинейном движении характер изменения скорости может быть различным. Скорость может быть постоянной $V = const$, такое движение называется равномерным и расстояние, проходимое телом при таком движении, определяется формулой $S = Vt$. В общепризнанной системе единиц измерения СИ единицами измерения скорости являются метры за секунду (м/с). В технике широко распространены и другие - километры в час (км/час), мили в час (миль/час) и другие.

Скорость может увеличиваться или замедляться с одинаковой интенсивностью, которая называется ускорением и обычно имеет обозначение « a » или « w ». В математической форме при изменении скорости равном ΔV за промежуток времени t среднее ускорение a_{sr} ускорение определяется формулой $a_{sr} = \frac{\Delta V}{t}$, единицами ускорения в международной системе единиц СИ служат метры деленные на секунду в квадрате $[м/(сек)]^2$. При постоянном увеличении скорости $a = const$, движение называется равноускоренным. Если ускорение имеет знак «+» скорость записывается как $V = V_o + at$, где V - текущая скорость, V_o - начальная скорость, a - ускорение, t - время с начала ускоренного движения. Расстояние S , проходимое телом при таком движении,

определяется формулой $S = V_o t + \frac{at^2}{2}$. Если скорость равномерно замедляется, то в

механике это означает, что движение происходит по-прежнему с ускорением, разница лишь в знаке ускорения - теперь оно отрицательно. Такое движение называется равнозамедленным и записывается формулой $V = V_o - at$, где V - текущая скорость, V_o - начальная скорость, a - ускорение, t - время с начала замедления движения. Расстояние S , проходимое телом при таком движении, определяется формулой $S = V_o t - \frac{at^2}{2}$.

Однако движение редко бывает прямолинейным, практически все материальные тела в нашей жизни движется по криволинейным траекториям. Даже двигаясь, по прямому как стрела автобану, мы движемся по криволинейной траектории с огромным радиусом кривизны равным радиусу Земного шара. Простейшим случаем криволинейного движения является вращение. В теоретической механике кинематическими характеристиками вращательного движения являются направление вращения, угловая скорость и угловое ускорение. Средняя угловая скорость ω_{sr} это отношение угла поворота

$\Delta\varphi$ к промежутку времени Δt за который происходит поворот, записывается как: $\omega_{sr} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$

. Единицами измерения угловой скорости в международной системе единиц СИ являются обратные секунды (1/сек), отсутствие единицы измерения в числителе объясняется тем, что углы поворота в системе единиц СИ измеряются в радианах, а они являются безразмерной величиной, а соотношение радиан и угловых градусов определяется

формулой $A(\text{радиан}) = B(\text{градус}) \left(\frac{\pi}{180} \right)^\circ$.

Мгновенная угловая скорость ω это предел отношения очень малого поворота $\Delta\varphi$ за столь же малый промежуток времени Δt при стремлении промежутка времени к

нулю $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$. Угловое ускорение ε аналогично линейному и характеризует изменение угловой скорости ω за единицу времени. Его знак положителен при увеличении угловой скорости и отрицателен при замедлении. Численное значение среднего углового

ускорения определяется по формуле $\varepsilon_{sr} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$, мгновенного углового ускорения по

формуле $\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$. Единицы измерения углового ускорения – обратные секунды в квадрате.

Вращение с постоянной угловой скоростью $\omega = \text{const}$ характерно тем, что время одного полного оборота, так называемый период вращения T , является величиной постоянной. Поскольку один полный оборот, это поворот на 360 градусов или 2π в радианной мере, то угловая скорость равномерного вращения может быть записана как

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Количество оборотов в единицу времени называют еще частотой вращения ν и эта характеристика вращения обратно пропорциональна времени одного оборота $\nu = \frac{1}{T}$.

Угловая скорость, определяется частотой вращения и записывается как $\omega = 2\pi\nu$.

В технике угловую скорость часто измеряют количеством оборотов в единицу времени и обозначают ее как « n ». Формула измерения в этом случае приобретет вид $\omega = n2\pi$, а единицами измерения в этом случае являются «обороты в секунду» (об/сек), «обороты в минуту» (об/мин) или «обороты в час» (об/час).

Любая точка вращающегося тела имеет линейную скорость V_t , направленную по касательной к ее круговой траектории. Такая скорость в механике называется окружной и имеет прямую связь с угловой скоростью ω , которая выражается формулой $V_t = \omega R$, где R - радиус кругового вращения. Именно эта взаимосвязь позволяет измерить высокую скорость пули с помощью довольно остроумного технического решения, которое можно реализовать вместе с юным стрелком в ходе занимательного опыта, используя пневматическую стреляющую игрушку. Точность измерения в Вашем опыте, конечно, будет весьма приблизительной, но главным здесь будет объяснение самого принципа измерения, основанного на взаимосвязи линейной окружной и угловой скорости вращения.

Для проведения опыта Вам понадобится лыжная палка, два диска из тонкого картона или плотной бумаги диаметром около 20 сантиметров, шнур длиной около полутора метров и два стула. Общая схема «экспериментальной установки» показана на рисунке рисунке1 а).

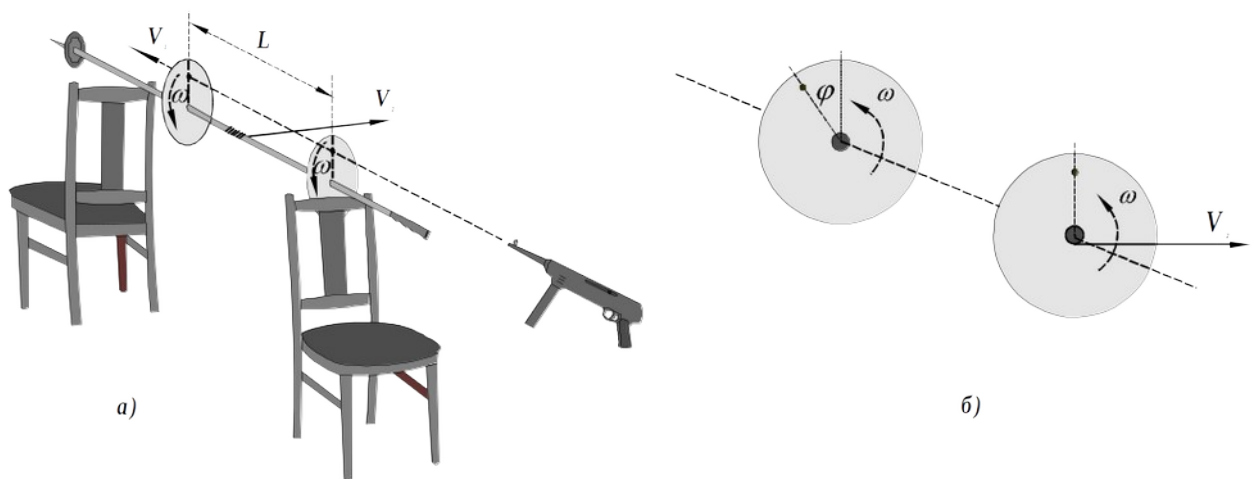


Рисунок 1

Картонные диски плотно крепятся на лыжной палке перпендикулярно к ее оси и на расстоянии примерно $L=100$ см. друг от друга. На лыжную палку наматывается около 15-20 витков шнура, и она вместе с картонными дисками, укладывается на спинки стула как показано на рисунке. Если равномерно потянуть на себя шнур, то, сматываясь с лыжной палки, он заставит ее вращаться вместе с картонными дисками с постоянной угловой скоростью ω . Во время сматывания шнура с лыжной палки, примерно 1-2 секунды, необходимо подсчитать количество сматываемых витков шнура. Разделив число количество смотанных витков на время сматывания можно определить число оборотов вращающихся дисков n и тогда угловую скорость ω легко вычислить по формуле $\omega = n2\pi$.

Так, например, при 3-х сматываемых витках за одну секунду угловая скорость будет равна $\omega = 3 \times 2 \times 3.14 = 18,84$ (1/сек). Для измерения скорости полета пульки V_1 необходимо во время вращения картонных дисков выстрелить по ним из игрушечного пневматического оружия так, чтобы пластиковая пулька пробила оба диска.

При этом важно тщательно прицелиться, обеспечив максимально точное совпадение траектории полета пульки с линией, параллельной оси лыжной палки. Соблюдение условия параллельности во многом обусловит точность измерения. Пулька, пробив первый диск, должна будет пролететь расстояние L после чего пробьет второй диск. Время, за которое пулька будет лететь вдоль лыжной палки между дисками очень мало, и измерить его очень трудно, однако в этом и нет необходимости - его можно вычислить.

Пока пулька, пробив отверстие в первом диске, преодолевает расстояние L , лыжная палка вместе с дисками повернется на некоторый угол φ , который будет зафиксирован отверстием, пробитым пулечкой во втором диске, что показано на рисунке 1, б). Зная угловую скорость вращения и угол поворота φ в радианах, с помощью формулы $\omega_{sr} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ и полагая, что $\omega = \omega_{sr}$ и $\varphi = \Delta\varphi$, легко можно найти численное значение времени поворота Δt .

Так, например, предположим, угол поворота, измеренный в градусах, оказался равным $\varphi=30^\circ$, чтобы перевести его в радианы надо воспользоваться формулой

$A(\text{радиан}) = B(\text{градус}) \left(\frac{\pi}{180} \right)^o$ и тогда $\varphi = 30 \left(\frac{3,14}{180} \right) = 0,52(\text{радиан})$. Время поворота в

данном случае будет равно $\Delta t = \frac{\Delta\varphi}{\omega_{sr}} = \frac{0,52}{18,84} = 0,028$ секунд. Зная время, за которое пулька преодолевает расстояние L , легко рассчитать скорость полета пульки с помощью формулы $V_{sr} = \frac{S}{t}$, полагая $L=S$ и $t=\Delta t$, находим, что скорость полета пульки выпущенной из

игрушечного пневматического оружия в нашем случае равна $V = \frac{L}{\Delta t} = \frac{1}{0,028} = 35,71$ (м/сек) или 9,92 (км/час).

1.4 «Клюющие дятлы» (тема - Трение)



Фото 4

Игрушка состоит из стального стержня на подставке, по которому могут свободно, с небольшим зазором двигаться деревянные шайбы с закрепленными на них с помощью пружин фигурками стилизованных деревянных дятлов, см. фото 4.

Под действием силы тяжести птички спускаются по стержню не вполне очевидным образом - они, раскачиваясь, с небольшими остановками движутся вниз, стуча клювами о стержень. Такое необычное движение объясняется тем, что площадь контакта каждой из шайб и стержня представляет собой практически две точки, разнесенные вдоль стержня. В неподвижном состоянии силы трения в точках опоры, создают момент силы, который по своей величине превышает момент силы, образованный весом фигурок дятлов и поэтому они не могут двигаться вниз по стержню. Но если слегка подтолкнуть фигурки пальцами и заставить их чуть-чуть раскачиваться на пружинах по инерции, то в определенной фазе колебаний перекося исчезает, и сила трения становится равной нулю. При этом фигурки дятлов из-за отсутствия удерживающей силы трения немного соскальзывают вниз. Тут же возникает новый перекося, опять возникают силы трения, и дятлы на долю секунды останавливаются в своем движении вниз. Затем процесс повторяется – дятлы опять скользят вниз, останавливаются и снова скользят. Таким образом, характер столь необычного движения обуславливается попеременно возникающей и исчезающей силой трения - одной из самых распространенных в природе.

Сила трения имеет электромагнитную природу и возникает в том случае, когда молекулы, находящиеся на вершинах микронеровностей одного тела, находятся на максимальном сближении с молекулами другого тела. При таком контакте, в случае относительного перемещения тел, сила трения всегда препятствует перемещению тел относительно друг друга.

Различают три вида трения:

- *трение покоя*, при котором сила взаимодействия микронеровностей превышает сдвигающее усилие;
- *трение скольжения*, при котором сдвигающее усилие по абсолютной величине больше силы взаимодействия микронеровностей;
- *трение качения* - случай, при котором тела перекатываются по поверхности друг друга, при этом площадь контакта минимальна, в случае шарообразных близка к точке, а в случае цилиндрических тел к линии.

В рукописях Леонардо Да Винчи еще в 1493 можно обнаружить записи о том, что уже тогда он подметил зависимость силы трения от силы прижатия друг к другу трущихся поверхностей и независимости ее от площади соприкосновения. Позднее, в 1699 году Гийом Амонтон, а за ним в 1785 Шарль Кулон экспериментально установили зависимость силы трения от внешних параметров, которая сегодня известна нам как *закон Амонтона-Кулона*. Согласно этому закону, величина силы трения определяется формулой $F_{tr} = fN$, т.е. сила трения равна произведению *коэффициента трения* f , определяемого шероховатостью соприкасающихся поверхностей, на силу давления N , перпендикулярную площади контакта. Стоит обратить внимание на то, что здесь величина площади контакта на значение силы трения никакого влияния не оказывает, о чем и указывал в свое время Леонардо Да Винчи.

Сила трения одна из самых распространенных в нашей жизни. Часто она бывает полезной - именно с ее помощью мы можем брать что-то руками и не ронять, ходить и не поскользнуться. Однако в технике она чаще бывает нежелательной и трение стараются уменьшить, как например в осях электрических двигателей и различных колес, между зубьями шестеренок и т.п.

Для увеличения силы трения обычно делают поверхность трущихся поверхностей, как можно более шероховатой, стараются убрать любую смазку или делают ее даже ребристой. Иногда с этой же целью соприкасающиеся поверхности, наоборот, полируют, при этом микронеровности сближаются насколько можно плотнее и за счет межмолекулярного притяжения сила трения значительно увеличивается.

Уменьшить силу трения можно, используя различные смазки, заменяя трение скольжение на трение качения, а также используя материалы с низким коэффициентом трения. Наилучшими парами материалов с наименьшим коэффициентом трения скольжения являются: чугун-чугун $f=0,15$; сталь-бронза $f=0,12$; тефлон - сталь $f=0,05$; сталь-лед $f=0,015$. Самым скользким веществом, более скользким, чем тефлон, сегодня считается керамика на основе сплава бора, алюминия и магния. Коэффициент трения у двух поверхностей, покрытых этой керамикой $f=0,02$ и это почти в два раза меньше, чем у тефлона.

1.5 «Игрушечные весы» (тема – *Вес и масса*)

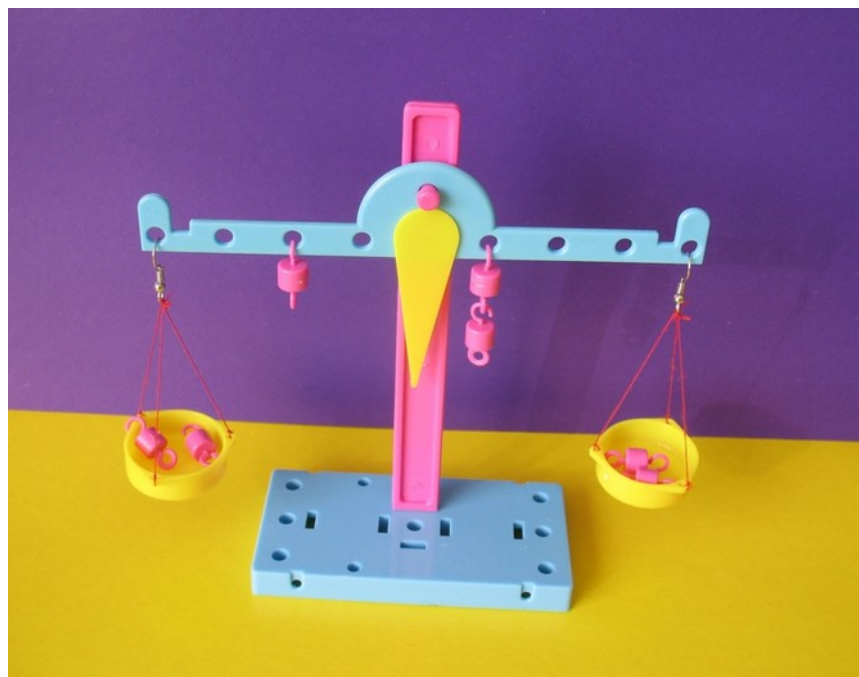


Фото 5

Эти, казалось бы, игрушечные, ни на что серьезное не способные, весы позволяют взвешивать небольшие предметы с немалой точностью, их погрешность лежит в пределах нескольких миллиграммов. С помощью этой игрушки, меняя точки подвеса грузиков одинаковой массы в отверстиях горизонтального рычага можно наглядно продемонстрировать правило рычага. На фото.5 видно, что один грузик слева уравновешен двумя грузиками справа. Это объясняется тем, что расстояние от точки подвеса левого грузика до точки опоры рычага весов ровно в два раза больше, чем расстояние от точки подвеса двух левых грузиков до той же точки опоры. О правиле рычага и простейших механизмах более подробно будет рассказано ниже в описании следующей игрушки «Пропеллер на винте».

Любопытным фактом является всеобщее заблуждение о том, что с помощью весов мы узнаем вес тела. На самом деле при взвешивании мы определяем не вес, а массу того, что лежит на чаше весов, и об это следует поговорить особо.

Проблема взвешивания изначально была одной из самых важных в повседневной жизни, поскольку торговля или обмен товаров подразумевал точную оценку их количества. Первые весы в виде равноплечего коромысла с подвешенными на его концах чашами появились около 2,5 тысяч лет назад в древней Месопотамии и Египте. Спустя примерно 500 лет в Индии и Китае вес научились измерять с помощью *безмена* – неравноплечих весов, представлявших собой тяжелый металлический стержень с крюком на конце. За крюк подвешивали измеряемый груз, а сам стержень подвешивали, продев его сквозь ремennую петлю. Вес груза определяли, передвигая петлю вдоль стержня и добиваясь равновесия стержня в горизонтальном положении. Точка подвеса ремennой петли указывала значение веса груза по разметке, заранее нанесенной на стержень.

В античные времена техника взвешивания была уже достаточно отработана, и ученых этого времени в большей степени интересовало философское содержание вопроса о том, что такое материя, что притягивает ее к Земле и делает весомой. Известно утверждение Аристотеля, что если уронить с одинаковой высоты два предмета разного веса, то первым упадет на пол тот который тяжелее. Он объяснял это тем, что в тяжелом предмете вещества больше, и каждая частица вещества стремится занять свое

естественное место, которое конечно находится на Земле. Несмотря на то, что Аристотель вне всяких сомнений был одним из величайших ученых всех времен, поскольку именно он предложил научный метод познания мира, в вопросе о падении он заблуждался. Авторитет Аристотеля не позволил усомниться в его точке зрения на падение тел в течение почти двух тысяч лет – с 300-х годов до нашей эры до 1600-х годов нашей эры, когда Галилео Галилей подверг сомнению утверждение Аристотеля. Знаменитые опыты Галилея по бросанию шаров одинакового диаметра и различной массы с наклонной Пизанской башни показали, что время падения всех шаров не зависит от их массы. Парадокс Аристотеля о том, что перо с камнем падают по-разному, Галилей объяснил сопротивлением воздуха. И действительно в традиционной школьной демонстрации свинцовая дроби́нка и пушинка падают в стеклянной трубке, из которой откачан воздух с одинаковой скоростью.

Окончательную ясность с падением тел различного веса внес Исаак Ньютон, сформулировав закон всемирного притяжения. Он предположил, что вес появляется у любого тела только тогда, когда его что-то удерживает. Весит ли он на веревке или лежит на столе – неважно. И в том, и в другом случае на предмет действует определенная сила реакции – со стороны веревки в первом случае или со стороны стола во втором. Если такой силы нет – тело находится в свободном падении и лишено веса. При этом необходимо четко понимать разницу между физическими понятиями веса и массы. *Вес* – это сила, с которой Земля притягивает вещество, а *масса* — это характеристика самого вещества. Сам Ньютон рассматривал массу как количество вещества заключенного в данном объеме. Сегодня понятие массы несколько изменилось, теперь масса — это мера инертности вещества, то есть способность сопротивляться изменению скорости его движения, а также способность быть подверженной гравитационному притяжению.

Тайна происхождения гравитационного притяжения и по настоящее время не раскрыта и является одной из самых важных проблем современности. Однако закономерности гравитационного притяжения были описаны еще Ньютоном в рамках классической механики. Рассмотрим, как проявляются эти закономерности на примере взаимодействия двух тел, одним из них пусть будет Земля, ее масса равна M , а другим будет произвольно выбранное тело с массой m . Согласно закону всемирного тяготения между двумя телами массами M и m действует сила гравитационного притяжения F

равная: $F = G \frac{Mm}{R^2}$. В этой формуле: G – гравитационная постоянная, которая определена

экспериментально, равна $6,67 \times 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ и необходима для приведения в соответствие единиц измерения, а R – расстояние между массами, которое можно считать равным радиусу Земли т.е. 6 378 137 м. При сближении рассматриваемых тел под действием силы гравитационного притяжения F , а это будет соответствовать падению тела m на Землю, и движения Земли к телу m , ускорение каждого из них можно рассчитать, разделив силу взаимодействия F на соответствующую массу. Для ускорения w тела m получим формулу

$w = G \frac{M}{R^2}$, ускорение Земли будет равно $W = G \frac{m}{R^2}$. Сравнив эти два ускорения, можно

сделать следующие выводы:

1. Поскольку высота падения тела m по сравнению с радиусом Земли несоизмеримо мала, расстояние R можно считать неизменным.
2. Так как масса Земли M несоизмеримо больше массы m падающего тела то ускорение W Земли по сравнению с ускорением падающего тела можно считать пренебрежимо малым.
3. Ускорение любого падающего тела w можно считать постоянным, поскольку в определяющую его значение формулу масса этого тела не включена, G , R и M – величины постоянные, а W – пренебрежимо мало.

Таким образом, Ньютон доказал, что все тела падают на земле с одинаковым ускорением, которое не зависит от их массы. Точное значение ускорения свободного

падения g несколько отличаются в разных точках Земного шара за счет влияния центробежной силы обусловленной собственным вращением Земли, из-за отклонения формы Земли от идеальной сферы, а также приливными воздействиями и другими факторами. Принято считать среднее значение ускорения свободного падения равным $g=9,80665 \text{ м/с}^2$.

Зная ускорение свободного падения g и массу тела m можно легко определить вес тела P как $P = mg$. Массу тела сегодня, согласно международной системе единиц СИ принято измерять в килограммах, а поскольку вес представляет собой силу, то его было бы правильным измерять в ньютонах.

Однако у большинства весов измерительные шкалы размечены таким образом, что они показывают не вес, а сразу массу, т.е., частное от деления веса на ускорение свободного падения. Поскольку принято считать $1 \text{ ньютон} = 98,0655 \text{ граммов}$, то один килограмм массы, показываемый на любых весах, соответствует весу в $9,80665 \text{ ньютонов}$.

Единица измерения массы равная одному килограмму интересна тем, что это единственная единица измерения, численное значение которой сегодня соответствует предмету сделанному человеком – эталонному металлическому цилиндру из платиново-иридиевого сплава, хранящемуся в Парижской палате мер и весов. Все остальные базовые единицы измерения длины (метр), времени (секунда), температуры (градусы) и др. так или иначе, связаны с фундаментальными закономерностями природы.

В заключение разговора о весе и массе стоит отметить весьма примечательный факт. У космонавтов, летающих в международной космической станции, не существуют возможности взвесить ни один предмет, хотя сила гравитационного притяжения действует на них практически, так же, как и на Земле. При высоте орбиты около 380 километров и радиусе Земли $6371,2 \text{ километров}$ разница в силе гравитационного притяжения на

поверхности земли и на орбите определяется, как $\frac{1}{(6371,2)^2} - \frac{1}{(6751,2)^2}$ и после

вычислений оказывается равной $0,000000002695209$, что, конечно, ничтожно. Но все дело даже не в этой разнице, а в том, что сила гравитационного притяжения на орбите уравновешена центробежной силой, которая сопровождает станцию при ее вращении вокруг Земли. И все же, хотя вес на орбите и отсутствует, масса любого предмета для космонавтов на орбите остается неизменной.

1.6 Пропеллер на винте (тема – Простые механизмы)

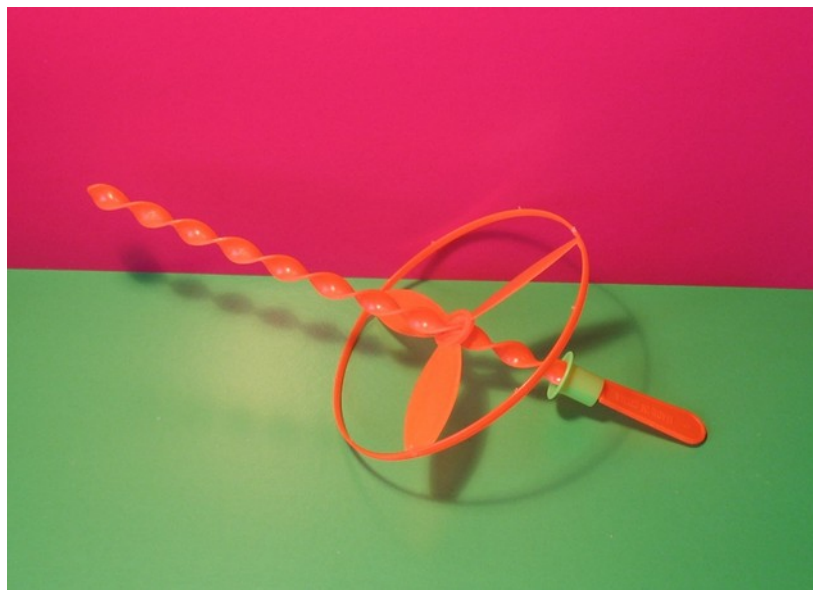


Фото 6

С этой игрушкой можно долго и увлекательно играть, запуская легкий пропеллер в изящный полет с помощью ползунка, перемещаемого рукой вдоль длинной пластиковой полоски, закрученной в форме винта, который представляет собой одну из разновидностей *простейших механизмов*.

Пожалуй, самый древний из них это *рычаг*, на принципе его работы были изобретены *ворот* и *блок*. Возможно, одновременно с рычагом стала использоваться *наклонная плоскость*, чуть позднее появились две ее разновидности - *клин* и *винт*. Изобретателем винта принято считать величайшего механика античности Архимеда, который впервые использовал для подъема воды механизм представляющий собой наклонную плоскость, свернутую в спираль.

Все простейшие механизмы предназначены для облегчения выполняемой человеком работы, а сам термин «простейший механизм» придумал Герон Александрийский и в книге, которую он назвал «Метрика», он первым исследовал не только механизмы по отдельности, но также и в различных комбинациях. Уже тогда, в первом веке нашей эры, Герон пользовался понятием момента силы и рекомендовал, учитывать при работе сложных механизмов силу трения.

Принцип работы всех простых механизмов одинаков. При одном и том же усилии все простейшие механизмы могут изменять направление и величину этого усилия, и точку его приложения. При этом всегда соблюдается так называемое «золотое правило механики» - выигрыш в силе пропорционален проигрышу в расстоянии.

Наиболее наглядно золотое правило механики проявляется в работе рычага. Расстояние от точки опоры рычага до поднимаемого груза должно быть намного меньше, чем расстояние от той же точки опоры до точки приложения силы. Такое соотношение расстояний позволяет, приложив небольшую силу и перемещая рычаг на значительное расстояние, получать значительно большее усилие на другом конце рычага, пусть и переместив груз намного меньше. Одним из примеров рычага можно считать обычную лопату. Перемещая ручку с небольшим усилием на расстоянии около 50 сантиметров, можно приложить гораздо большее усилие к пласту земли, но только перемещение при этом будет гораздо меньше – не более 10 сантиметров.

Работа типичного ворота становится понятной, если вспомнить, как поднимают воду в ведре на веревке из старинных колодцев. Цилиндрический отрезок бревна с

намотанной на него веревкой имеет радиус гораздо меньший, чем плечо рукоятки, с помощью которой он вращается. Эта разница в плечах приложения силы рук и веревки, натянутой весом ведра с водой, позволяет получить выигрыш в работе – вращать ворот удастся с относительно небольшим усилием пусть и на относительно большой длине веревки. По такому же принципу устроены и блоки, которые вместе с перекинутыми через них тросами или цепями являются неременной составной частью грузоподъемных механизмов – лебедок и кранов. Блок интересен тем, что его можно использовать не только неподвижно прикрепленным к какой-либо части сооружения или природной опоры - в этом случае можно лишь изменить направление приложения тянущей силы. Можно использовать также и подвижный блок, получая выигрыш в силе ровно в два раза. При этом блок вместе с подвешенным к его оси грузом сам висит на веревке, один конец которой неподвижно закреплен, а за другой тянут, поднимая груз. Также можно собрать несколько блоков в подвижную и неподвижную обойму и получить грузоподъемное устройство *полиспаст* позволяющий получить многократный выигрыш в силе.

Наклонная плоскость позволяет получить выигрыш в силе при горизонтальном перемещении и одновременном подъеме тяжелых грузов на небольшую высоту. Чем меньше угол наклона, тем больше выигрыш в силе, но тем на большее расстояние придется перемещать груз по горизонтали. Существенным недостатком наклонной плоскости является большая сила трения, поэтому обычно дополнительно используются катки или смазка. Например, известно, что при возведении египетских пирамид, чтобы уменьшить силу трения, под каменные блоки лили глинистый раствор.

Клин используется, когда нужно разделить на части как-то прочный, но хрупкий материал, например при добыче гранитных блоков в каменоломнях. Ну а идея винтовой поверхности, кроме традиционного использования при перемещении или подъеме жидких и сыпучих веществ, нашла самую широкую сферу применения при изготовлении самых различных крепежных элементов, таких как гайки, болты, шурупы и им подобные.

1.7 «Заводной игрушечный автомобиль» (тема – Колесо)



Фото 7

Колесо можно считать прародителем простерших механизмов, а история его изобретения теряется в глубине веков. Придумали колесо скорее всего, перекачивая тяжелые грузы с помощью бревна. Постепенно утоньшаяся по середине, бревно облегчало работу и постепенно превратилось в так называемую колесную пару. Так началась очень древняя история изобретения колесного транспорта, который уже на самой ранней степени развития цивилизации позволял решить задачу перемещения тяжелых грузов, которыми могли быть и добытая пища и материал для жилища.

Впрочем, даже с помощью колеса мускульная сила человека и его выносливость часто оказывались не достаточными для повседневных нужд, а потому, когда удалось одомашнить сильных и мощных животных, их сразу стали использовать не только в кулинарном плане, но и как источник энергии для повозок, которые называются гужевыми от слова гуж или упряжь. В качестве ездовых человеку служили очень многие виды животных - собаки, олени, быки, слоны и верблюды, но главными, конечно, были лошади. Первая гужевая пружины в качестве аккумулятора энергии для реального транспортного средства, а только в качестве игрушек.

В XVII веке появляются так называемые самобеглые механические повозки. В России самоучка из крестьян Леонтий Шамшуренков сконструировал и в 1752 году изготовил четырехколесную коляску в которой, с помощью педального привода, два стоящих водителя катали повозка появилась около 4000 тысяч лет назад в Месопотамии и скорее всего была двухколесной. Более того, археологами найдены многочисленные остатки глиняных игрушечных колясок, возраст которых насчитывает более 4-х тысяч лет. В древнем Египте и в античные времена уже использовались весьма совершенные колесницы, запряженные конями.

Первый колесный механизм, способный двигаться самостоятельно был изобретен Леонардо Да Винчи. Вместо тяглового животного в качестве источника энергии в нем использовалась упругая пружина. Сегодня не известно наверняка, была ли реализована идея на практике самим Леонардо, однако в наше время были осуществлены несколько успешных реконструкций этой идеи по старинным чертежам. Самой успешной попыткой реконструкции пружинной повозки Леонардо Да Винчи оказался работающий механизм, собранный в 2004 году, в котором итальянский ученый Карло Педретти использовал для

перемещения мощные спиральные пружины, а две плоские пружины автоматически управляли направлением движения.

Однако коэффициент полезного действия спиральной пружины (отношение работы совершаемой при разворачивании пружины к работе необходимой для ее завода) весьма невелик, не более 70% при самой лучшей смазке - касторовом масле с графитом. Более того, запас энергии упругости, который может хранить самая лучшая пружина в сочетании с ее собственным весом, не дает возможности использовать любые двух пассажиров. Коляска могла разгоняться до скорости 15 км/час на что указывал изобретенный и установленный им же спидометр. Спустя немного меньше полувека, в 1791 году, этот механизм усовершенствовал другой русский изобретатель Иван Кулибин. Его трехколесная механическая повозка тоже перевозила двух пассажиров, но приводилась в движение одним человеком и была снабжена маховиком, который запасал энергию при движении под уклон и возвращал ее при подъемах. Средняя скорость этого экипажа составляла около 10 км/час, что было совсем неплохо для того времени, да и сегодня маховичные накопители энергии признаются весьма перспективными. Следующим этапом развития мускульных экипажей стало изобретение двухколесных велосипедов.

1.8. «Игрушечный велосипед» (тема - Экологичный транспорт)



Фото 8

Эту игрушку еще называют «фингербайк» или «пальчиковый велосипед». Она представляет собой металлическую раму со сменными обрешиненными колесами на подшипниках и легко вращающимся рулем. Дети играют с ним, удерживая пальчиками и катая по какой ни будь поверхности, выделявая при этом всевозможные трюки – движение на одном колесе, подскоки, вращения на руле тремя, и т.п. Все почти как с большим велосипедом BMX (bicycle motocross – мотокроссовый велосипед). Игра с фингербайком весьма полезна для развития воображения, а также тренирует и укрепляет мелкую моторику пальцев рук.

Изобретение велосипеда иногда приписывают Леонардо да Винчи, однако это ошибочная точка зрения, и это было доказано целым рядом исторических исследований, в частности работами Дэвида Херхли, автора книги «История велосипеда». Сегодня считается, что первым изобретением, позволившим человеку увеличить скорость своего движения с помощью двухколесного механизма и без помощи животных, оказалась «машина для бега», запатентованная в 1817 году немецким бароном, профессором Карлом фон Дрезом. Позднее его деревянный самокат стал называться дрезиной. Самокат имел деревянную раму и двумя продольно расположенными колесами. Ездок, сидя на раме, перебирая ногами и поочередно отталкиваясь от земли, мог двигаться в два раза быстрее, чем при самом быстром беге и уставал при этом намного меньше. Удерживать равновесие помогал гироскопический эффект, который подробно рассматривается в описании игрушечного гироскопа (см. игрушка № 1.16 «Игрушечный гироскоп»). Самокаты быстро стали очень популярны, и было быстро налажено их промышленное производство.

Многочисленные усовершенствования конструкции двухколесных самокатов привели к тому, что около 1840 у них появились педали и седло, но с современным велосипедом у такой конструкции было еще мало общего - педали вращали заднее колесо с помощью металлических стержней и шарниров. Немногом позже француз Пьер Лалман упрощает конструкцию, он переносит педали на большое переднее колесо, благодаря чему становятся ненужными передаточные металлические стержни и в 1864 году он начинает массовый выпуск двухколесных экипажей, которые получают современное название «велосипед». За очень недолгое время велосипеды приобретают современный вид - в 1867 году появляется металлическое колесо со спицами, а в 1878 цепная передача. Велосипед в

современном его виде, с цепной передачей на заднее колесо и с одинаковыми по размеру передним и задним колёсами патентует в 1886 и организует массовое производство году англичанин Джон Старли .

Обучение езды на велосипеде для многих является весьма непростым делом. Поскольку точек опоры во время движения только два, а центр тяжести удерживать в пределах одной линии невозможно, для *устойчивого равновесия* необходимо набрать определенную скорость, при которой колеса вращаются достаточно быстро, и гироскопический эффект проявляется в достаточной мере. Поэтому всегда перед началом движения велосипед всегда слегка разгоняют, толкая руками. Усаживаются в седло уже на движущийся велосипед и только затем начинают наживать на педали. Опытные велосипедисты могут начать движение с места уже сидя в седле, но при этом, в какой-то момент времени они находятся в положении *неустойчивого равновесия* (см. игрушка № 1.2 «Неваляшка»).

При разработке и изготовлении современных велосипедов используются последние достижения материаловедения и технологий – углепластиковые и титановые силовые элементы, а также компьютерный дизайн. Уже появляются пауэрбайки — так называемые «умные» велосипеды. Эти механизмы имеют, встроенный электропривод с аккумуляторами и микропроцессор. Электронная схема позволяет во время движения по инерции, а также при избытке мышечной энергии человека во время спусков управлять зарядкой аккумуляторов. Такая схема дает возможность многократно экономить силу и двигаться быстрее.

Сегодня многие конструкторы энтузиасты не оставляют попыток изобрести принципиально новые схемы транспортных средств использующих исключительно мускульную силу человека, простых и легких, экологичных и безопасных. Однако пока ничего лучше традиционной педальной схеме с цепной передачей придумать не удалось и не случайно выражение «изобретать велосипед» носит иронический оттенок.

1.9 «Гравитационная тележка» (Тема - *Вечные двигатели*)



Фото 9

Эту игрушку, придуманную около двух тысяч лет назад, сегодня совсем не сложно изготовить и самому. Две пары колес на двух осях, которые свободно вращающиеся в подшипниках скольжения закрепленных в основании легкой тележки, и к одной из осей привязан без возможности проскальзывания шнурок, переброшенный через шкив, который поднят на некоторую высоту над основанием тележки. К другому концу шнура привязан небольшой грузик, длина шнура выбрана таким образом, что, когда он полностью намотан на ось, грузик оказывается поднятым на максимальную высоту. Сматываясь с оси, грузик опускается почти до касания с основанием тележки и зависает на натянутом шнурке. Вот, собственно говоря, и все устройство. Интересен способ приведения игрушки в движение по ровной горизонтальной поверхности.

Предварительно, намотав полностью шнурок на ось, необходимо поднять грузик на максимальную высоту, а затем предоставить игрушку самой себе. Грузик, опускаясь под собственным весом и сматывая шнурок с оси, заставит вращаться колеса, и тележка будет двигаться как бы сама собой. Движение правда будет недолгим - пока не смотается весь шнурок, а затем тележка остановится. Но привести ее в движение опять не сложно, достаточно опять намотать шнурок и отпустить тележку с поднятым грузиком. Игрушка интересна тем, что во время ее движения не расходуются привычные виды энергии, запасаемые в электрических батарейках, упругих элементах, в горючем для двигателей внутреннего сгорания и т.п. Здесь с максимальной наглядностью можно наблюдать, как работает сила гравитационного притяжения в горизонтальном направлении.

Такой способ перемещения колесных тележек был придуман около двух тысяч лет тому назад гениальным механиком античности Героном Александрийским. О нем самом и о других его изобретениях будет рассказано также и в описании следующей игрушки

«Цепь Герона». Главной особенностью большинства изобретения Герона является то, что главной целью они имеют вызвать восхищение и удивление у окружающих. Принцип движения игрушечной тележки был применен Героном для создания самодвижущегося постамент, на котором античные божественные персонажи торжественно выезжали на сцену античных театров. Такое, как бы «волшебное» появление героев в театральных представлениях вызывало особые чувства экзальтации у зрителей, смотревших, тогда как правило драмы и пьесы религиозной направленности. Механизм, заставляющий двигаться постамент с героями, был он на удивление прост, и конечно, скрыт Героном от зрителей. Тяжелый груз, соединенный веревками и шкивами с колесами, размещался на большой емкости с пшеничным зерном. По мере того, как зерно высыпалось через отверстие в дне емкости в другую, нижнюю емкость, груз на зерне, опускался и тянул веревку намотанную на колесную ось, вращал ее, и заставлял двигаться всю конструкцию.

Столь необычный способ создания движущей силы привлекал многих изобретателей и потом, вплоть до наших дней. В патентные ведомства всех стран ежегодно приходит множество заявок на новые изобретения, в которых так или иначе используется сила гравитации. Существует даже отдельный класс в патентоведческих рубрикаторах под индексом *F03G*. Под этот класс подпадают *«Пружинные, гравитационные, инерционные и другие аналогичные двигатели; устройства и механизмы для получения механической энергии, не отнесенные к другим подклассам или использующие не отнесенные к другим подклассам источники энергии»*.

Именно в этом классе не по сей день продолжают попытки запатентовать пресловутый «перпетум мобиле» или вечный двигатель первого рода, который может работать без подвода к нему какой-либо энергии. Причем это несмотря на то, что еще в 1775 г. членами Парижской Академии наук единодушно было принято решение отказывать в рассмотрении подобных проектов, которым дано было определение как «вечные двигатели 1-го рода». Многими великими учеными, среди которых Леонардо Да Винчи, Роберт Бойль, Иоган Бернули и другие, была отдана дань увлечению в создании именно подобных устройств. Максимальный подъем в энтузиазме творцов вечного двигателя был достигнут в XVII и XVIII веках и несмотря на всю хитроумность и изобретательность их творений, практически все создаваемые тогда модели можно условно разделить на три основных типа.

1. Использующие силу гравитации. В них вечное движение предполагалось получать посредством вращения неуравновешенных грузов, с использованием Архимедова винта, хитроумных соударений и др.

2. Гидравлические и пневматические. Здесь особой популярностью пользовалась ртуть, перетекавшая по замысловатым трубопроводам под собственным весом. Известны попытки использовать свойство капилляров поднимать воду. Пробовали найти способ извлечь полезную работу используя *гидростатический парадокс*, суть которого в том, что у двух сосудов одинакового объема давление на широкое и узкое дно различно. Одинаковый уровень жидкости в сообщающихся сосудах разного объема тоже надежды сторонникам идеи безостановочного движения.

3. Магнитные. Обычно здесь предпринимались усилия в несимметричном ослаблении напряженности магнитного поля у природных магнитов.

Именно тогда появилось и множество мошенников и жуликоватых личностей, которые пытались заработать на хитроумных механических подделках, приводимых в длительное, казалось бы, безостановочное движение, спрятанными внутри пружинами, животными и даже людьми. Подобные мистификации проводились исключительно с целью выманивания денег у состоятельных и влиятельных людей того времени. Даже первый Всероссийский Император Петр I проявлял интерес к покупке «вечного двигателя» построенного в начале XVII века изобретательным мошенником из Германии Иоганом Бесслером, позднее ставшим именовать себя звучным именем «Орфериус». Его механизм представлял собой колесо со скрытой внутри сложной системой рычагов и

маятников, которое единожды приведенное во вращение и оставленное в закрытой и опечатанной комнате вращалось неопределенно долгое время. Позднее, с большим скандалом, выяснилось, что колесо, в течение многих недель заставляли вращаться, скрытые в соседней комнате помощники.

В 1841 году немецким естествоиспытателем Робертом Майером, впервые четко и ясно был сформулирован Закон сохранения энергии. Казалось бы, все споры на тему о вечном движении должны были кануть в лету, но не тут-то было. И по сей день идея опровержения одного из основополагающих принципов физики не забыта. С учетом реалий нашего времени проекты вечных двигателей во многом претерпели изменения и теперь часто предпринимаются попытки использовать последние достижения современной науки и технологий. Так, например, существуют проекты «перпетум мобиле» с применением магнитов, где в отличие от ставших уже традиционными схем, предлагается конструкция, которая должна заработать благодаря комбинации электромагнитов, работающих в режиме сверхпроводимости. При этом убыль энергии, идущей на поддержание работы такого двигателя, должна поступать при отборе тепла от обычных магнитов, обеспечивающих условия сверхпроводимости. При очевидной технической неосуществимости подобного проекта, он представляет собой наглядный пример так называемых «вечных двигателей второго рода». В таких устройствах один вид энергии преобразуется в другой без каких-либо потерь в процессе перехода. Создание подобных машин также невозможно, поскольку вступает в противоречие со вторым законом термодинамики. В природе невозможны процессы самостоятельной передачи тепловой энергии от холодных тел к телам горячим. В случае практической реализации такого перехода необходим подвод внешней энергии и хорошим примером тому может служить бытовой холодильник.

Впрочем, некое похожее на «вечное движение» все-таки возможно, это гидроэлектростанции, ветроэнергетические установки, фотоэлементы и т.п. Этот список подобных устройств, пусть и менее эффективных, можно было бы и продолжить. Все их можно отнести к категории так называемых даровых двигателей, они же мнимые или псевдовечные двигатели второго рода.

1.10 «Цепь Герона» (Тема - Физика Античности)



Фото 10

Время жизни Герона точно неопределенно, в настоящее время преобладает мнение, что он жил в первом веке нашей эры, в любом случае с полной уверенностью можно утверждать, что он был одним из величайших механиков и математиков античности. Его труды, как и работы подавляющего большинства других античных авторов, дошли до нас не полностью. Известны «Механика», «Книга о подъемных механизмах», «Пневматика», «Книга о военных машинах», «Театр автоматов», «Метрика». Математические труды Герона, по существу, являются энциклопедией античной прикладной математики. Им даны определения шарового сегмента и тора, правила и формулы для точного и приближенного вычисления площадей правильных треугольников, объемов усеченных конуса и пирамиды. Общеизвестна так называемая формула Герона для определения площади треугольника, выражающая площадь треугольника через три его стороны.

Если a , b , c — длины сторон треугольника и его полупериметр равен $p = \frac{a+b+c}{2}$, то его площадь можно найти с помощью формулы $S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$. В «Метрике» Герон предложил правила численного решения квадратных уравнений и приближенного извлечения квадратных и кубических корней. В математических трудах Герона правила чаще всего не выводятся, а поясняются на примерах и это сближает труды Герона с работами математиков Древнего Египта и Вавилона.

Не меньшую известность Герону принесли его изобретенные им механизмы. Из его труда «Пневматик» мы можем узнать о существовании и принципах работы целого ряда остроумных гидромеханических приборов того времени. В «Театре автоматов»

приводятся конструктивные схемы и дается описание храмовых и театральные автоматов, которые можно было увидеть в культовых зданиях и античных театральных представлениях. В сочинении Герона «О диоптре» изложены правила земельной съемки с помощью особого прибора «диоптра» – прадеда современного теодолита.

Герону удалось максимально полно систематизировать знания древних в области световых явлений. Следуя его трудам, ученые стали разделять оптику на катоптрику, или науку об отражении, и диоптрику - науку об изменении направления световых лучей при попадании в прозрачные среды, или, как мы говорим теперь, о преломлении. В трактате «Катоптрика» (катоптрика - наука об отражении лучей от зеркальных поверхностей) Герон обосновывает прямолинейность световых лучей бесконечно большой скоростью распространения. Далее, он приводит доказательство закона отражения, основанное на предположении, что путь, проходимый светом, должен быть наименьшим из всех возможных. Изучая различные типы зеркал, особое внимание Герон уделяет цилиндрическим зеркалам.

К III в.н.э. Александрия пришла в упадок и в последующие столетия ее музей, библиотека, храмы и театры, являвшиеся центрами языческой философии, стали яростно преследоваться последователями новой религии - христианства. В 640 году, во время вторжения в Египет арабов, во многом сохранившаяся к тому времени библиотека была сожжена. Золотой век греческой науки закончился, однако некоторые рукописи, благодаря наиболее просвещенным халифам из числа арабских завоевателей все же сохранились. И в средние века, последовавшие за падением Римской империи, инженерные достижения Александрии получили развитие в исламском мире.

В IX г. н. э. главными преемниками Герона стали три брата из Иракского рода Бану Муса в Багдаде, к настоящему времени сохранился их труд «Книга остроумных приспособлений» с описанием множества различных конструкций, механизмов и приспособлений, в которых явно прослеживается творческое наследие удивительного гения античности, Герона Александрийского.

В настоящее время, благодаря информационной революции и легкости получения самой различной информации, интерес к знаниям и изобретениям древних получил новый импульс. Примером этому может служить ставшая не так давно весьма распространенной и модной среди школьников физическая головоломка, так называемая «цепь Герона», придуманная Героном в начале нашей эры. Игрушка представляет собой две цепочки, которые переплетены особым образом так, что обе цепочки кажутся единой цепью. Если взять такую переплетенную цепь одной рукой за верхнее кольцо, а другой за следующее за ним то, отпустив верхнее кольцо, можно наблюдать как оно как, скользя между звеньями, будет падать до самого низа цепи и застрянет на последнем звене. Потом можно опять взяться одной рукой за верхнее кольцо и следующее за ним, а потом повторить падение верхнего. Цикл может повторяться сколь угодно долго и догадаться, что верхнее кольцо вовсе не падает, а создается лишь иллюзия его падения при простом волновом повороте одной цепочки относительно другой, совсем не просто.

Как и почти и все изобретения Герона его цепь не имеет никакого практического значения и может быть использована исключительно в развлекательных целях. Но талант Герона как механика и изобретателя неизменно приводит в восторг и восхищение любого, взявшего в руки эту головоломку.

1.11. «Магнитные оливки» (тема - Энергия)

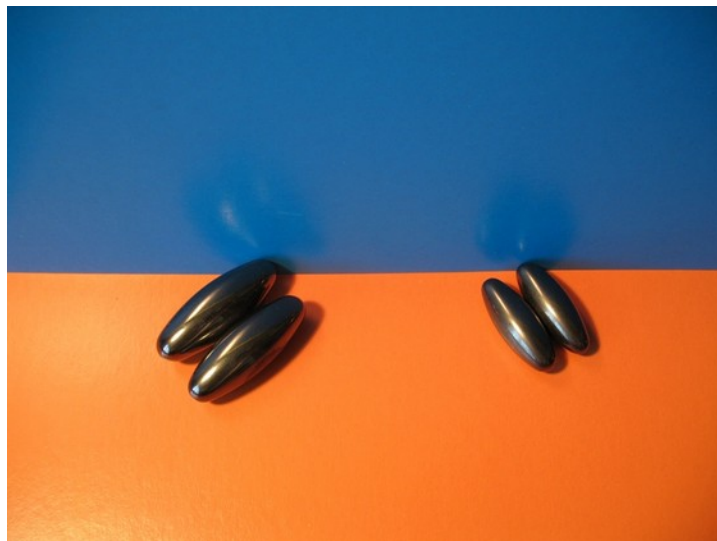


Фото 11

Можно предположить, что эту игрушка было бы логично разместить в разделе «Электричество», однако кроме демонстрации силы магнитного притяжения два неодимовых магнита дают возможность разговора (с определенной долей интриги) о таком фундаментальном физическом понятии как *энергия*.

Чтобы научиться правильно играть с этими магнитами нужно проявить определенную долю настойчивости. Прежде всего, нужно взять в одну руку два магнитных шарика или оливки и разведя их пальцами на расстояние около сантиметра, удерживать, не позволяя притянуться друг к другу. Затем их надо подбросить примерно на метр в высоту. Во время полета вверх и последующего падения магниты будут притягиваться друг к другу, упруго соударяться и разлетаться на чуть меньшее расстояние, затем вновь сталкиваться и опять разлетятся. Такой своеобразный колебательный процесс будет длиться все время падения, пока магниты вновь не окажутся в руке. Весь полет будет сопровождаться достаточно громкими щелчками в момент упругого удара, сливающимися в характерный стрекот. Зрелище весьма занятное и эффектное, причем оно сопровождается изменением целого ряда различных видов энергии.

Сегодня нам известно уже несколько десятков различных видов *энергии*, это энергия солнца и морских волн, энергия ветра и химических связей и другие. Все виды энергии без исключения связаны еще с одним фундаментальным физическим понятием - движением. Магнитные шарики или оливки летая в игре демонстрируют 6-ть основных видов энергии - два вида механической и четыре внутренней.

→ Механическая энергия двух видов:

1. Кинетическая энергия
2. Потенциальная энергия

→ Внутренняя энергия 4-х видов

3. Электромагнитная энергия
4. Энергия звука
5. энергия упругости
6. Тепловая энергия.

Пожалуй, самым очевидным образом в полете магнитов проявляет себя электромагнитная энергия, которая заставляет магниты двигаться навстречу друг другу и сталкиваться с громким щелчком. Причиной этой энергии является однонаправленное движение свободных электронов в атомах ферромагнитных материалов, из которых состоят все постоянные магниты, в том числе и неодимовых шары или оливки нашей

игрушки. Искусственным аналогом постоянного магнита является катушка из медного провода с пропускаемым по ней постоянным электрическим током. Такую электромагнитную катушку называют катушкой индуктивности или соленоидом, а

создаваемая им электромагнитная энергия описывается формулой $W_E = \frac{L \times I^2}{2}$, где L - индуктивность катушки, I - сила тока.

С не меньшей наглядностью взлет и падение магнитов демонстрируют проявление механической энергии, которая обусловлена движением любых материальных тел привычного для нас масштаба. Подбрасывая магниты вверх, мы своей рукой

обеспечиваем их кинетической энергией $W_k = \frac{M \times V^2}{2}$, где W_k - кинетическая энергия, M

- масса магнита и V^2 - скорость движения. Замедление полета магнитов и их последующее падение происходит за счет гравитационного притяжения Земли, которое обуславливает возрастание у магнитов запаса потенциальной энергии, описываемой формулой

$W_p = M \times g \times h$, где W_p - потенциальная энергия, g - ускорение свободного падения на Земле и h - расстояние магнитов по отношению к точке отрыва от бросавшей руки. Тайна возникновения силы гравитационного притяжения в настоящее время не раскрыта и движение каких частиц ее ответственно за возникновение этой силы нам пока не известно. Однако то, что именно в движении скрывается загадка гравитации, подсказывает нам простая логика природы всех остальных видов энергии.

Падая и соударяясь, магниты весьма громко звучат, и мы слышим это, воспринимая барабанными перепонками ушей движение молекул воздуха в процессе выделения энергии звуковых волн. Звук — это очень быстрое чередование волн сжатий и расширений окружающей нас воздушной среды. Рассчитывается энергия звуковых волн довольно сложным образом. Величина энергии единицы объема воздуха называется *плотностью звуковой энергии*. Она определяется суммой плотностей кинетической и потенциальных энергии всех молекул воздуха в данном объеме и описывается формулой

$w = \frac{\rho v^2}{2} + \frac{\beta p^2}{2}$, где ρ - плотность воздуха, v - скорость колеблющихся частиц воздуха, β - коэффициент сжимаемости среды и p - звуковое давление.

Ответ на вопрос о том, как возникает звук, пожалуй, не совсем очевиден, хотя и очень прост. После крайне быстрого соударения магниты разлетаются за счёт того, что металл, из которого они сделаны, является очень упругим. Он быстро, со звуковым щелчком, восстанавливает свою форму после сжатия. *Упругость* — это свойство твердых или пластичных тел восстанавливать свою форму после снятия внешних нагрузок. Обусловлена упругость движением атомов в кристаллических решётках металлов или движением молекул в полимерных цепочках полимеров и органических веществ. В простейшем случае, например для сжатой пружины, ее потенциальная энергия упругой

деформации математически записывается как $E_u = \frac{kx^2}{2}$, где k - коэффициент жесткости и

x - линейный размер деформации. Для более сложных случаев объемной деформации вступают в силу более сложные математические зависимости. Так для стержня сжатого

или растянутого вдоль оси, энергия его упругой деформации равна $E_u = \frac{E \varepsilon^2}{2} V$, где E -

модуль Юнга который характеризующего способность материала стержня сопротивляться упругой деформации, ε - линейное удлинение, V - объем стержня. Более подробно об упругости можно прочитать в описании следующей игрушки «Упругий прыгун».

Относительно тепловой энергии может показаться, что с летающими магнитами, в данном случае она никак не связана. И все же, почти незаметно, на очень малую, в абсолютном выражении, величину, магниты в процессе деформации немного нагреваются. Тепловая энергия любого твердого тела представляет собой сумму кинетической энергии колебательных движений атомов и кинетической энергии свободных электронов. Для оценки тепловой энергии служит такой показатель как температура. Если разным веществам сообщить одинаковое количество тепловой энергии, то они нагреются до различной температуры, что определяется удельной теплоемкостью разных материальных тел, а само количество теплоты определяется формулой $Q = cm\Delta T$, где c – удельная теплоемкость, Q – количество теплоты, m – масса нагреваемого тела, ΔT – разность между начальной и конечной температурами тела.. Примерами тел с большой теплоемкостью являются метал, камень и вода, а малой теплоемкостью обладают пенопласт и дерево.

Еще одной характеристикой, влияющей на нагрев, является теплопроводность - способность вещества проводить сквозь себя тепловой поток при различной температуре его поверхностей. Характеристикой теплопроводности является коэффициент теплопроводности λ , который зависит от состава, плотности и строения того или иного вещества. Лучшей теплопроводностью обладают более плотные вещества, так, например максимальной теплопроводностью обладают серебро и медь, а одними из лучших теплоизоляторов являются различные газы и асбест.

1.12 «Упругий прыгун» (тема – Упругость)



Фото 12

Эта игрушка интересна своим неожиданным поведением. Если, преодолев небольшое сопротивление резинового корпуса вывернуть ее наизнанку и, придав пальцами ему вращение в горизонтальной плоскости, уронить на пол то после падения, она с громким щелчком восстановит свою форму, и подпрыгнет неожиданно высоко. Высота этого подъема будет почти в два раза больше, чем той, с которой Вы игрушку уронили. Такой, на первый взгляд удивительный эффект объясняется высвобождением энергии упругости, дополнительный запас которой Вы сообщили резиновому корпусу игрушки, выворачивая его наизнанку.

Существует несколько определений физического понятия упругость. Самая распространенная и простая: «упругость - свойство твердых веществ восстанавливать свою форму после снятия внешней нагрузки». Расширенная трактовка: «упругость - свойство тел восстанавливать свою форму и объем (для твердых тел) или только объем (для жидкостей и газов) после прекращения действия внешних сил». Наиболее точной можно считать следующее определение: «упругость - способность материи сопротивляться изменению своей формы и объема при воздействии внешней нагрузки».

Упругость обусловлена результатом изменения баланса двух сил, имеющих электромагнитное происхождение. Первые это обменные силы, которые обусловлены взаимодействием электронов на внешних оболочках атомов и отвечают за химические связи в молекулах вещества. Эти силы называют также химическими, с одной стороны они удерживают атомы в молекулах и не дают им разлетаться, а с другой стороны, благодаря так называемому свойству *насыщаемости*, не позволяют молекулами присоединять к себе новых атомов. Наглядным примером результата действия этих сил является простейшая молекула водорода, всегда состоящая только из двух атомов водорода. Третьему атому не позволяют присоединиться к молекуле именно химические силы, они же удерживают два первых. Химические силы очень быстро убывают с расстоянием. Если электростатические силы убывают в обратно квадратичной зависимости от расстояния, то химические убывают обратно пропорционально седьмой степени от расстояния. Поэтому основная сфера действия химических сил ограничивается расстоянием близким к размеру молекул.

Вторые силы — это межмолекулярные силы, или силы Ван-дер-Ваальса которые главным образом являются электростатическими. Эти силы связывают между собой молекулы вещества и являются силами притяжения. С увеличением расстояния силы Ван-

дер-Ваальса убывают несколько слабее, чем химические силы, обратно пропорционально шестой степени от расстояния между молекулами.

В газах расстояние между молекулы обычно намного больше, чем размеры самих молекул, примерно в 10 раз, и притягиваясь друг к другу силами Ван-дер-Ваальса, они постоянно находятся в хаотическом движении. При относительном сближении молекул до предельно малых расстояний, начинают взаимодействовать электроны на внешних орбитах атомов, возникают силы отталкивания и создается так называемое *внутренне давление* газов. Частота таких сближений (соударений) определяет температуру газа и зависит от скорости движения молекул.

В жидкостях силы Ван-дер-Ваальса удерживают молекулы на расстояниях близких к собственному диаметру, и также позволяют им перемещаться относительно друг друга. Однако они же не дают молекулам улетать из общего объема жидкости, образуя силы поверхностного натяжения.

В твердых веществах силы Ван-дер-Ваальса отвечают за удержание молекул в геометрически правильных *узлах кристаллической решетки*, позволяя им лишь очень быстро и в крайне малых пределах колебаться вокруг одной точки. Расстояния между узлами кристаллической решетки у твердых тел, как и у жидкостей, близки к размерам молекулы. Так, например, в кубической кристаллической решетке железа, молекула которой состоит всего из одного атома, размеры между узлами составляют около 2,866 *ангстрема* (1 ангстрем равен 0,0000000001 или $10 \cdot 10^{-10}$ метра) а радиус 1,266 ангстрема.

Кроме кристаллических твердых тел существуют тела, которые можно лишь условно назвать твердыми, это так называемые *аморфные* тела. В этих телах Ван-дер-ваальсовы силы, прижимают молекулы не в строгом порядке как в кристаллических, а самым различным образом - иногда произвольно, как попало, а иногда в определенных цепочках. В таких телах молекулы тоже непрерывно колеблются и могут смещаться друг относительно друга. Типичным примером подобных тел является каучук, углеводородные молекулы которого представляют собой спиралевидные цепочки и легко могут смещаться друг относительно друга. Получают природный каучук из латекса – сока дерева *гевеи*, который первыми использовали индейцы Южной Америки, а в Европу каучук попал уже по возвращении экспедиции Колумба. Если в молекулы каучука встроить атом серы можно получить обычную резину. Это делается при помощи так называемого процесса *вулканизации* – нагрева и одновременного сдавливания. Еще одним примером аморфных тел может служить стекло, состоящее в основном из двуокиси кремния или кремнезема - SiO_2 . В зависимости от наличия примесей, свойства стекла очень сильно меняются. Если процент кремнезема около 99%, стекло называют кварцевым и температура его плавления очень высоко, 2200 градусов. Если в стекло добавлено до 30% оксидов кальция, натрия и калия содержа, обычно в виде соды и поташа, то температура его плавления лежит в пределах 1200 – 1700 градусов Целься, это обычное бутылочное, оконное и т.п. стекло. В любом стекле при комнатной температуре молекулы не остаются на месте, а движутся, но с очень малой скоростью, почти равной нулю - стекло бесконечно медленно течет.

Хотя стекло и является аморфным, при обычной температуре его быстро согнуть и не разрушить невозможно, при этом оно проявляет свойство упругости. В тоже время кристаллическое железо можно деформировать как пластилин. В технике такой процесс называется *объемной штамповкой* - железная заготовка укладывается в специальную форму (*матрицу*), на нее с огромным усилием давит поршень нужной формы, (*пуансон*), и за небольшое время желе приобретает нужную форму. Таким образом, аморфные вещества, как и кристаллические, могут проявлять свойство упругости, а кристаллические, при определенных условиях, могут, наоборот, становиться пластичными. Более того, одно и то же вещество может проявить как упругие, так и пластичные свойства. Закономерности, которым подчиняются деформации тел при

действию на них различных нагрузок, описывает теория упругости, в основе которой лежит закон Гука.

В 1660 году нагружая тонкую металлическую струну, Роберт Гук установил, что ее удлинение прямо пропорционально растягивающей силе, правда лишь до определенных пределов, после чего закономерность исчезает, а деформация становится необратимой. В математической форме этот закон описывается как: $F_s = kx$, где F_s – растягивающая сила, x – удлинение, k – коэффициент пропорциональности, зависящий от растягиваемого материала. Сегодня все стальные пружины рассчитываются именно по этой формуле, согласно ей происходит растяжение резины. Однако закон Гука строго справедлив только в определенных пределах растяжения, при которых внешняя нагрузка не вызывает напряжений, превышающих так называемого *предел пропорциональности*, значение которого свое для каждого материала. Если этот закон выполняется с небольшими отклонениями, при которых после снятия растягивающего усилия деформации исчезает, нагрузка не превышает так называемого *предела упругости*. В том случае, когда внешнее усилие вызывает остаточные деформации после снятия нагрузки, говорят, что превышен *предел текучести*. Максимальная нагрузка, которую может выдержать материал перед разрушением – *предел прочности*.

Кроме разрушения под действием больших нагрузок все тела могут сжиматься. *Сжимаемость* – это свойство вещества изменять свой объем под действием равномерно распределенного внешнего давления. Можно сказать, что сжимаемость — это как бы противоположность упругости. Самая высокая сжимаемость у газов, их объем при всестороннем сжатии уменьшается прямо пропорционально давлению, но лишь при небольших его значениях. При больших значениях сжатие происходит значительно хуже, и тем не менее объем газа может уменьшиться более чем в тысячу раз. Так, например, при давлении в 5000 атмосфер объем газа уменьшается в 1163 раза. При сжатии любых газов их молекулы сближаются, их скорость увеличивается и происходит значительный нагрев. Процессы сжатия и расширения газов подчиняются законам термодинамики, о которой рассказано в описаниях игрушек № 2.2 «Любвимер» и №2.3 «Пьющая уточка».

Твердые вещества и жидкости тоже подвержены сжатию, но намного в меньшей степени, чем газы. Причем вопреки весьма распространенному мнению жидкости сжимаются намного лучше, чем твердые вещества. Так, например, при одинаковом давлении вода может уменьшить свой объем по сравнению со сталью почти в 70 раз.

Наука, описывающая поведение материалов под действием на них внешних сил, называется «сопротивление материалов». Эта наука имеет огромное практическое значение, поскольку позволяет теоретически рассчитать элементы различных конструкций на прочность.

1.13 «Резонансные шары» (тема - Резонанс)

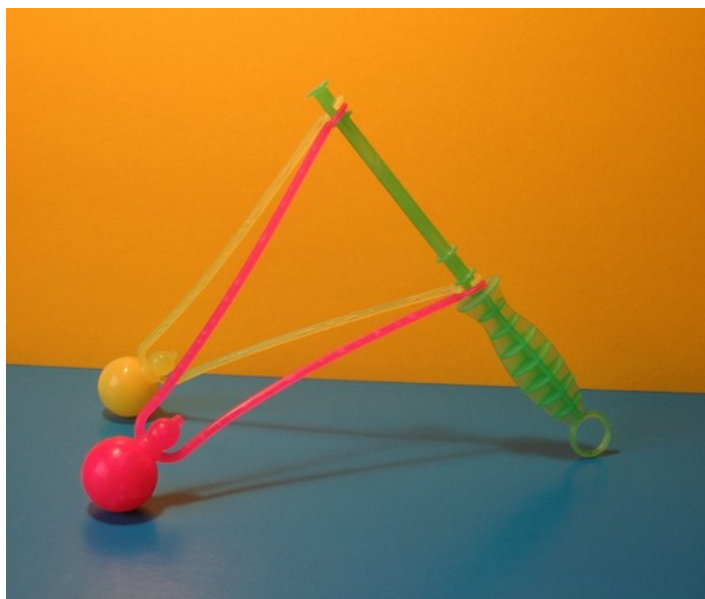


Фото 13

Игрушка, представляет собой два разноцветных шарика из прочной упругой пластмассы, которые могут свободно вращаться вокруг общей оси -рукоятки. Если взять игрушку за рукоятку, расположить её вертикально и начать синхронно раскачивать с частотой около 2-3 раз в секунду, то шарики станут достаточно быстро вращаться вокруг оси.

Но гораздо интереснее заставить работать игрушку по-другому, для чего нужно так подобрать фазы вращений шариков, чтобы один из них, двигаясь с достаточно большой скоростью, налетел на другой неподвижный шарик. В момент упруго удара летящий шарик предаст шарiku неподвижному свой импульс, а сам остановится - создается иллюзия, что шарики поменялись цветами. Если поймать ритм, то цикл соударений можно повторять в течение неопределенно долгого времени.

Притягивающее внимание ритмичное движение шариков является наглядным проявлением одного из важнейших физических явлений - *резонанса*, строгое определение которого формулируется следующим образом: «...при совпадении частоты действий вынуждающей силы с частотой собственных колебаний следует резкое увеличение амплитуды колебаний». Хотя резонанс в игрушке и не приводит к заметному ускорению движений шариков, но именно совпадение частот возвратно-поступательных движений руки и вращения шариков в нужный момент времени добавляет им энергию, компенсируя потери на трение в осях и сопротивление воздуха.

Предпосылки к открытию резонанса можно обнаружить в трудах Леонардо да Винчи, отнесенных к 1492 году. Тогда он заметил и записал, что, если ударить по одному из двух расположенных рядом колоколов, другой, молчащий до этого колокол тоже начинает звучать. Так же он отметил, что если тронуть одну из струн лютни, то можно заставить зазвучать другую, расположенную рядом.

Экспериментально исследовал и дал научное описание явления резонанса Галилео Галилей в своей знаменитой работе «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению». В своих экспериментах он с помощью смычка заставлял звучать толстую скрипичную струну, после чего подносил к ней кубок из тонкого стекла, который сначала начинал подрагивать, а затем и звучать в унисон со струной.

Явление резонанса в механических системах чаще оказывается вредным чем полезным. Кроме положительных эмоций, которые дарят нам резонирующие музыкальные инструменты, резонанс помогает увеличить мощность отбойных молотков и других дробящих и разрушающих машин и инструментов. С его помощью мы раскачиваемся на качелях и нам намного легче вытаскивать застрявшие автомобили. Хотя на этом список полезных сторон механического резонанса и не заканчивается, но отрицательных его проявлений известно намного больше.

Известны несколько случаев разрушения мостов через реки и ущелья, когда ветровая нагрузка совпадала по частоте с раскачиванием мостового полотна. Типичный случай таких катастроф - разрушение подвесного моста через пролив Такома происшедшее в 1940 году в США. В авиации долгое время были загадкой многочисленные, и не первый взгляд бессистемные, поломки во время посадки шасси самолетов, получившие название «шимми», а также разрушения на больших скоростях их хвостового оперения - так называемого «флаттера». Лишь тщательные исследования выявили что причина этих, часто катастрофических изъянов развивающейся авиации, скрывалась в резонансе конструктивных элементов при переменных силовых и аэродинамических нагрузках. Явление резонанса опасно для зданий и сооружений во время землетрясений, оно может создавать гигантские цунами, а также и во многих других ситуациях, сопровождающихся переменной динамикой механических систем.

Кроме механического резонанса сегодня нам известны и другие его виды. В электрических цепях при совпадении собственной частоты колебательного контура и внешнего источника напряжения возникает *электрический резонанс* - в контуре резко возрастает амплитуда колебаний. Это явление широко используется в электронных устройствах радиосвязи, в магнитно-резонансных шаговых электродвигателях, а также для регулировки мощности электрических цепей.

Кроме физика термин «резонанс» нашел себе место также в других сферах нашей жизни человека. Так, например если некое событие вызывает у людей бурный отклик часто говорят про *общественный резонанс*, а когда в общении между кем-то присутствует полное взаимопонимание, то можно сказать, что налицо *когнитивный резонанс*.

1.14 «Колыбель Ньютона» (тема – Маятник и закон сохранения энергии)



Фото 14

Игрушка, сувенир, физический прибор - все эти определения одинаково подходят к цепочке соприкасающихся упругих шаров, каждый из которых подвешен с помощью *бифилярного подвеса* (подвес на двух нитях с разнесенными на некоторое расстояние точками крепления). Если отдавать историческую справедливость, то это устройство, было бы справедливее назвать «Колыбелью Галилея», поскольку именно он первым исследовал качания грузов, подвешенных на гибком подвесе.

В 1602 году будучи на богослужении в Пизанском соборе и заинтересовавшись тем, как раскачивалась люстра под высоким куполом, по приходу домой стал экспериментировать с различными предметами, подвешенными на цепочках и шнурках. Именно тогда им была обнаружена независимость периода колебаний маятника от его массы при одинаковой длине подвеса. Для фиксации промежутков времени Галилей использовал частоту биения собственного сердца для чего придумал специальный прибор названный позднее *пульсологием* (*pulsilogium*), и который сразу же вошел в медицинскую практику врачей того времени. Прибор представлял собой маятник переменной длины, которую можно было увеличивать или уменьшать, подбирая частоту его маятника так, чтобы она совпадала с частотой пульса пациента. По отметкам на заранее отградуированном подвесе врач мог быстро оценить состояние больного.

Подробные и тщательные исследования колебаний маятника были продолжены голландским ученым Христианом Гюйгенсом. Главную цель этих работ Гюйгенс ставил изобретение механических маятниковых часов, способных работать в условиях морской качки. Это было важнейшей проблемой в то время, знаменовавшее собой эпоху великих географических открытий. Результаты своих трудов он изложил в трактате 1673 года «Маятниковые часы или геометрические доказательства, относящиеся к движению маятников, приспособленных к часам». В этой работе дается подробное описание часов с *циклоидальным маятником* - маятником, у которого груз движется не просто по дуге окружности, а с помощью особых упоров по дуге циклоиды. Гюйгенс отмечал различие *математического* и *физического* маятников. Первый представляет собой абстрактную конструкцию, где подвешенное тело считается точечным, нить предполагается тончайшей и нерастяжимой, а подвес крепится к идеальной точке. Физический же маятник — это

реальное твердое тело имеющее возможность совершать колебания вокруг любой из своих точек, не совпадающих с центром тяжести. Описывая *изохронность* - важнейшее свойство маятника, состоящее в том, что время одного его колебания не зависит от массы маятника и *амплитуды* - размаха колебаний и определяются лишь длиной подвеса Гюйгенс уточняет наблюдение Галилея в том, что это оказывается справедливым лишь при малых амплитудах. Он также выводит математическую формулу для периода

колебаний маятника: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, где l - длина подвеса, и g - сила тяжести.

Игрушка из цепочки маятников, была запатентована гораздо позже - в 1967 английским актером С. Прэйбблом. Она интересна тем, что наглядно демонстрирует *закон сохранения механической энергии* и *теорию упругого удара*. Отклонив один из шаров и приподняв на высоту h над столом, мы придаем ему запас потенциальной энергии $W_p = M \times g \times h$. Если шар отпустить, то под действием силы тяжести шар, приобретет определённую скорость - запас потенциальной энергии перейдет в кинетическую энергию

$$W_k = \frac{M \times V^2}{2}.$$

Когда набравший скорость шар опустившись коснется первого из цепочки неподвижных шаров, произойдет упругое соударение. Материал шаров всегда выбирается максимально упругим и такой их удар друг о друга можно считать абсолютно упругим, при котором вся кинетическая энергия одного шара передается другому. В этом заключается *закон сохранения энергии* гласящий, что механическая энергия никуда не исчезает и не появляется ниоткуда, она лишь переходит из одного вида в другой.

После соударения неподвижный шар, не успев набрать скорость, ударится о следующий шар и передаст свой импульс ему. Далее в цепочке шаров последует ряд таких же соударений, вплоть до крайнего шара. Поскольку массы всех шаров одинаковы, а молекулы упругого металла совершают возвратно-поступательные колебания и расходуют энергию только на нагрев, крайний шар после соударения приобретет скорость лишь ненамного меньше чем скорость опустившегося. Поднявшись практически на высоту отклонения первого шара, крайний шар начнет опускаться аналогично первому и ударившись о неподвижную цепочку шаров передаст ей свою кинетическую энергию, которая вернется к первому и затем процесс повторится. Подобные циклические соударения будут продолжаться до десятка раз, пока запас потенциальной энергии, накопленный первым шаром, не будет истрачен на работу сил упругости и трения в точках подвеса и о воздух, после чего шары остановятся.

1.15 «Маятниковая тележка» (тема - Инерция и закон сохранения импульса)



Фото 15

Игрушку, представляющую собой маятник на тележке с колесами с очень малым трением качения, можно привести в движение не вполне очевидным образом, при котором прерывистый характер ее перемещения наглядно демонстрирует соблюдение закона сохранения импульса и энергии во время движения по инерции. О потенциальной и кинетической энергии можно прочитать в описании игрушки №1.11 «Магнитные оливки». О законе сохранения энергии и ее переходов из одного вида в другой в описании игрушки №1.14 «Колыбель Ньютона».

Говоря о законе сохранения импульса необходимо рассматривать не одно тело, а систему, состоящую как минимум из двух тел. Причем подразумеваются, что такая механическая система является *замкнутой или закрытой*, то есть она не подвергается воздействию извне или все воздействия уравновешены. Под *импульсом* тела в физике понимается векторное произведение скорости материального тела на его массу $P=MV$. Сам же закон *сохранения импульса в замкнутой механической системе* гласит: «при отсутствии внешних воздействий сумма векторных произведений всех масс системы тел на их скорость остается постоянной». Этот закон определяет движение маятника на тележке следующим образом.

Будем считать, что игрушке соответствует идеализированная замкнутая механическая система, состоящая из двух тел - физического маятника с радиусом качания R и массой M_1 , смонтированного на тележке с такой же массой $M_2 = M_1$, трение настолько мало, что им можно пренебречь. Когда тележка и маятник неподвижны и покоятся на горизонтальной поверхности центры масс маятника и тележки расположены на одной вертикали.

Если, не касаясь тележки отклонить маятник на некоторый угол α от вертикали, как это показано рисунке 2, запасая тем самым некоторое количество потенциальной энергии и отпустить его, то тележка и маятник начнут колебаться в противофазе относительно центра масс, который будет оставаться неподвижным. Этот процесс может продолжаться сколь угодно долго, потенциальная энергия переходит в кинетическую и

обратно, тележка никуда уезжает и в этом состоит демонстрация выполнения закона сохранения импульса в замкнутой механической системе для данного случая.

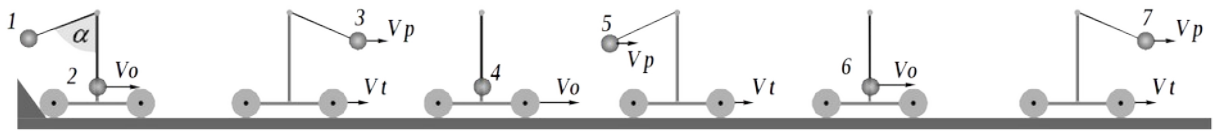


Рисунок 2

Однако нашу систему можно заставить двигаться и по-другому, тележка будет двигаться то ускоряясь, то замедляясь и даже на миг останавливаясь, но ... в одном направлении!

Установим тележку так, чтобы она упиралась одной парой колес, предположим левой, в неподвижное препятствие и отклоним маятник в сторону упора на такой же угол α , чтобы он оказался в положении «1» показанном на рисунке 2, а затем отпустим. Пока маятник опускается, сила реакции будет прижимать тележку к препятствию, и она остается неподвижной. Но как только маятник пройдет положение равновесия «2» на рисунке 2, он получит внешний импульс $P_1 = M_1 V_0$ и своей инерцией начнет увлекать за собой тележку, которая, ускоряясь, станет двигаться вправо. При этом сам маятник будет замедляться, и часть накопленной при его поднятии потенциальной энергии будет переходить в кинетическую энергию движения тележки и самого маятника. Здесь следует особо обратить внимание на то, что наша замкнутая система получила начальный внешний импульс P_1 в тот момент времени, когда маятник находился в положении «2», совпадающим с центром масс системы.

При дальнейшем движении маятника, когда он поднимется в свое наивысшее правое положение «3» на рисунке 2, его скорость относительно тележки станет равной нулю и в этот момент времени они вместе будут двигаться по столу с одинаковой скоростью $V_p = V_t$. Поскольку массы маятника и тележки равны, то в силу закона сохранения импульса абсолютная величина скорости их совместного движения при относительной неподвижности равна половине максимальной скорости маятника $V_p = V_t = \frac{V_0}{2}$. Если маятник останется в таком положении, то тележка вместе с ним будет так двигаться неопределенно долго. Но поскольку в нашем случае маятник начнет опускаться, он продолжит ускорять тележку вплоть до того момента, пока не займет вертикальное положение «4» на рисунке 2, передаст тележке уже весь свой импульс, а сам окажется неподвижным относительно стола. В этот момент времени скорость тележки станет равной $V_t = V_0$ и ее кинетическая энергия по своей величине сравняется с начальной потенциальной энергией маятника.

На следующем этапе движения рассматриваемой системы тележка будет тормозиться за счет инерции отклоняющегося влево маятника, который в идеальном случае поднимется на первоначальную высоту и окажется опять неподвижным относительно тележки в положении «5» показанном на рисунке 2. В этом положении

маятника скорость тележки упадет до значения $V_t = \frac{V_0}{2}$ и они вновь окажутся

неподвижными друг относительно друга. В дальнейшем маятник опять начнет опускаться и тормозить тележку вплоть до полной ее остановки в момент прохождения им своего крайнего нижнего положения «6» на рисунке 2. На этом один цикл рассматриваемого движения закончится и начнется точно такой же следующий. В реальном случае, при наличии сил трения, маятник, и тележка остановятся тогда, когда потенциальная энергия отклоненного в первый раз маятника вся без остатка перейдет в работу сил трения.

При желании, исходя из условия одновременного выполнения законов сохранения импульса и энергии, несложно найти зависимости скорости маятника относительно тележки V_p и тележки относительно стола V_t для любого угла отклонения маятника φ . Для упрощения расчетов, будем считать, что маятник при начальном запуске тележки отклонен до горизонтального положения, как это показано на рисунке 3.

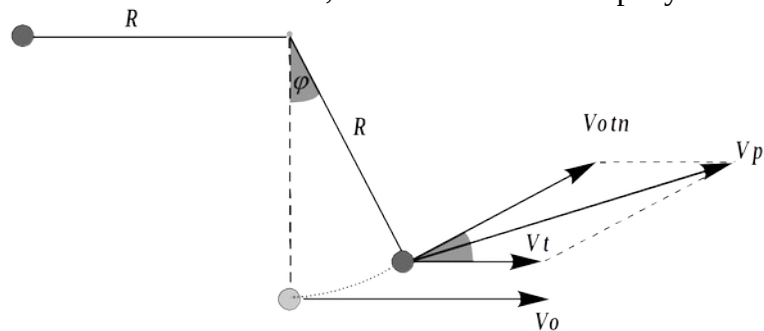


Рисунок 3

В силу закона сохранения энергии потенциальная энергия маятника при подъеме его на высоту R составляет величину равную MGR .

В тот момент времени, когда маятник находится в центре масс рассматриваемой системы, вся его потенциальная энергия перейдет в энергию кинетическую $MGR = \frac{MVo^2}{2}$ и скорость маятника будет равной $Vo = \sqrt{2GR}$.

В любой момент времени скорость маятника относительно тележки V_{otn} направлена перпендикулярно радиусу качания, а суммируясь со скоростью тележки V_t , дает скорость во внешней системе отсчета V_p , см. рисунок 18. Учитывая, что в соответствии с законом сохранения импульса в замкнутых механических системах векторная сумма скорости маятника, параллельной плоскости стола $V_p(x)$ и тележки V_t всегда равны начальной скорости маятника Vo , можно записать $V_t + V_p \cos(\varphi) = Vo$ или $V_t + (V_t + V_{otn} \cos(\varphi)) = Vo$ откуда $V_t = \frac{Vo - V_{otn} \cos(\varphi)}{2}$.

Суммарная механическая энергия тележки и маятника при отклонении маятника на любой угол φ равна его потенциальной энергии при начальном отклонении

$\frac{MV_p^2}{2} + \frac{MV_t^2}{2} + MGR[1 - \cos(\varphi)] = MGR$. После ряда математических преобразований и подстановок находим, что $V_{otn}^2 = \frac{4GRCOS(\varphi) - Vo^2}{1 + SIN^2(\varphi)}$.

Может показаться, что такой способ перемещения может решить проблему создания механизма инерцоида, который способен перемещаться в пространстве без взаимодействия с внешней средой, за счет сил инерции при взаимодействии его внутренних элементов. В свое время этой проблемой с увлечением занимались русский философ и механик Циолковский, а также пионер американской ракетной техники Годдард. Однако, увы эта задача не имеет решения. Даже если сообщать грузу дополнительный импульс за счет внутренней энергии при его взаимодействии с тележкой, например при помощи встроенного электромотора, то можно лишь увеличить скорость движения маятника относительно тележки и самой тележки относительно внешней среды во время одного цикла колебаний системы. Средняя же скорость движения центра масс системы маятник – тележка при этом не изменится, в заключительной фазе, маятник и тележка станут совершать колебательные движения на одном месте относительно общего центра масс, пока не иссякнет внутренняя энергия.

Несмотря на кажущуюся простоту игрушки, демонстрируя с ее помощью движение шариков по инерции можно рассказать о фундаментальном и весьма непростом

физическом понятии «инерция». Термин «инерция» в буквальном переводе с латинского и французского языков означает «неподвижность» или «покой». Однако сегодня, под инерцией мы понимаем способность материальных тел, как оставаться в покое, так и двигаться прямолинейно и равномерно, если на эти тела не оказывается силовое воздействие со стороны других тел, или тогда, когда действующие внешние силы, при их одновременном действии, уравновешивают друг друга. Впрочем, физический смысл и точные формулировки этого понятия часто вызывает споры и различные толкования не только философской направленности, но и в профессиональной среде физиков.

Аристотель утверждал, что тела могут двигаться с постоянной скоростью только в том случае, когда на них действует постоянная сила. По прошествии почти двух тысячелетий Галилео Галилей подверг сомнению эту точку зрения и, исследовав ускоренное и равномерное движение тел, пришел к выводу о возможности движения по инерции без наличия действующих сил. Однако, рассуждая о круговом движении солнца и планет, он полагал, что они также движутся по инерции и на них не действуют никакие силы, в то время как сегодня такое движение объясняется действием сил гравитации. Понимание инерции близкое к современному предложил Исаак Ньютон в первом из трех своих знаменитых законов классической механики согласно которому «всякой материи, предоставленной самой себе присуща способность удерживать состояние покоя или равномерного прямолинейного движения». Согласно воззрениям Ньютона, инертные свойства любого материального объекта пропорциональны количеству вещества, которое содержится в этом объекте, т.е. его массе.

Хотя современное понятие массы и претерпело серьезные изменения и отличается от ньютоновского, но тем не менее это не потеряло прямой связи с понятием инерции. С одной стороны сегодня масса определяется той силой гравитационного взаимодействия, с которой данное количество вещества взаимодействует с другой массой – это так называемая гравитационная масса. С другой стороны масса тела определяется его способностью ускоряться под действием силы взаимодействия с другой массой – это так называемая инертная масса. Впрочем, экспериментально, с очень высокой точностью, установлено - гравитационная и инертная массы ничем не отличаются друг от друга и, скорее всего, представляют собой одно и то же.

1.16 «Игрушечный гироскоп» (тема – Гироскопы)



Фото 16

Гироскоп, как физический прибор для демонстрации особенностей вращения земного шара, был изобретен немецким математиком и астрономом Иоанном Боненбергером в 1817 году. Его гироскоп представлял собой массивный вращающийся металлический шар, закрепленный в шарнирном креплении, обеспечивающем свободное вращение шара вокруг трех взаимно перпендикулярных осей. Такой крепление сегодня известно под названием «карданов подвес». Причем несмотря на то, что аналогичный механизм был изобретен инженером Филоном Византийским еще в III веке до нашей эры в античной Греции, современное название он получил по имени итальянского ученого эпохи возрождения Джеранимо Кардано, который в свое время был известен как изобретатель кодового замка, а трехмерный шарнир был лишь подробно описан им в научных трудах.

Сам термин *гироскоп*, имеет своими корнями два греческих слова "гирос" - окружность и "скоп" - наблюдаю. Ввел этот термин в научный оборот в 1852 году, аббат Фуко, который, кроме того, что с помощью своего знаменитого маятника демонстрировал в парижском Пантеоне доказательство суточного вращения Земли, использовал в этих же целях и гироскопические устройства. Примечательно, что угол поворота неподвижного в пространстве гироскопа относительно шарнира закрепленного на поворачивающейся с востока на запад Земле, Фуко измерял с помощью микроскопа. Это объяснялось тем, что за приемлемое время наблюдения, угол поворота гироскопа был крайне мал.

Игрушечный гироскоп представляет собой небольшой дискообразный маховик, жестко закрепленный на оси, которая с очень малым коэффициентом трения может вращаться под совершенно произвольным углом к горизонту в проволочной рамке, установленной на отдельную подставку. Чтобы привести игрушку в действие необходимо раскрутить маховик с помощью простого шнурка или специальной реечной передачи. Если поставить его вертикально, он будет вращаться подобно обычной юле. Если же установить быстро вращающийся гироскоп на подставку так, чтобы ось вращения маховика была горизонтальна, то он не упадет на пол, как этого можно было бы ожидать, поскольку центр масс игрушки находится вне площади опоры. Вызывая удивление, вращающийся маховик гироскопа будет как бы висеть в воздухе и одновременно вращаться вокруг шарнирной опоры на подставке.

Быстрое вращение маховика игрушки вокруг собственной оси, оно называется «*собственным вращением гироскопа*». Угловая скорость этого вращения ω определяется тем, насколько сильно мы раскрутим маховик. Еще одно движение заключается в

вращении маховика вместе с рамкой вокруг вертикальной оси, проходящей через точку опоры рамки в подставке и называется «*прецессией гироскопа*». Скорость прецессии гироскопа Ω определяется формулой $\Omega = M/L$ и зависит главным образом от трех физических параметров.

Первый — это опрокидывающий момент M , действующий на маховик гироскопа при его вращении вокруг точки опоры или подвеса равный $M=mgh$, где m – масса гироскопа, g – ускорение земного тяготения, h – расстояние от центра массы до точки опоры.

Второй параметр - момент инерции I , находящийся в прямой зависимости от массы вращающегося тела, и в квадратичной от того, насколько далеко отстоят его отдельные части от оси вращения. Для простейшего случая, когда небольшая точечная масса m , вращается на расстоянии R вокруг неподвижной оси, момент инерции этой массы равен $I=mR^2$. Диск такой же массы и радиусом R , вращающийся вокруг своего центра массы, обладает моментом инерции $I=m^2 R^2 /2$, у аналогичного шара момент инерции равен $I=2/5 mR^2$. В общем случае, для вычисления момента инерции необходимо разбивать вращающееся тело на очень маленькие частицы, вычислять момент инерции для каждой из них и затем суммировать эти моменты - проводить интегрирование. В нашей игрушке, поскольку маховик гироскопа представляет собой практически диск, момент инерции равен $I=mR^2/2$, а момент импульса можно записать как $L= m R^2 \omega /2$.

Третий параметр – момент импульса L , зависит в прямой пропорции от угловой скорости собственного вращения гироскопа ω и от момента инерции $L=I\omega$. Момент импульса игрушечного гироскопа составляет величину $L= m R^2 \omega /2$. Сведя все параметры в единую формулу, можно найти угловую скорость прецессии нашей игрушки как $\Omega = 2gh / R^2 \omega$.

Если внимательно присмотреться, то можно заметить, что конец оси маховика, не имеющий опоры, кроме того, что описывает горизонтальную окружность, еще и немного колеблется в вертикальной плоскости. Это говорит о том, что кроме собственного вращения и прецессии у неуравновешенного гироскопа есть еще одна, уже третья характерная особенность движения. Вертикальные колебания оси прецессирующего гироскопа называются *нutation*.

Кроме механических, существуют оптические гироскопы, основанные на волновой природе света. В них световые лучи, идущие по вращающейся окружности способны образовывать различную интерференционную картину, которая зависит от скорости и направления вращения. Такую картину можно наблюдать, например, с помощью вращающейся катушки из оптоволоконного кабеля.

Главную область применения как оптических, так и механических гироскопов сегодня можно определить как навигация. Самые разнообразные приборы, устройства и механизмы, у которых главной составной частью являются гироскопы, позволяют быстро и надежно определять местоположение, ориентацию и скорость движения не только современных транспортных средств в небе, море и на земле, но и в космическом пространстве.

Кроме навигации мощные механические гироскопы нашли применение как силовые агрегаты. Так для ориентации спутников на космической орбите не обязательно пользоваться реактивными двигателями и расходовать драгоценный запас топлива. Имея на борту силовой гироскоп относительно небольшой массы, можно раскрутив его с помощью электрических двигателей и повернуть ось в нужном направлении, при этом корпус спутника, за счет силы реакции в опорных подшипниках, повернется на необходимый угол по отношению к орбите. В таком способе ориентации спутника бортовой запас топлива останется в неприкосновенности, а запас электроэнергии легко восполнить с помощью солнечных батарей.

Силовые гироскопы используются также и на Земле, точнее в морях и океанах – это так называемые гироспокойтели качки на морских судах. Масса вращающихся

маховиков в таких гироскопах, конечно, во много раз больше, чем в космосе и применяются они далеко не всяком судне. В основном гироспокоителями оснащаются круизные лайнеры и дорогие яхты, где дискомфорт, вызываемый бортовой и килевой качкой в штормовую погоду крайне нежелателен. Ну и конечно любой гироскоп - замечательная игрушка.

1.17 «Волчок Томсона» или «Китайский волчок» (тема – *Центробежная сила инерции*)

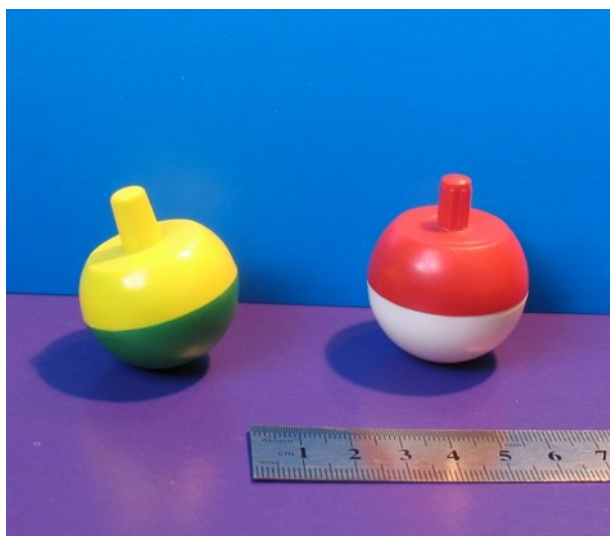


Фото 17

Волчок - игрушка старинная, при раскопках древнейших стоянок людей каменного века находят весьма похожие предметы и совершенно точно известно о том, что ими играли в античные времена, в древнем Китае и средневековой Европе. Разновидностей волчков очень много, обычно это диск или конус на оси, но существует и так называемый «Китайский волчок», который представляет собой усеченную сферу с короткой ручкой - осью, перпендикулярно закрепленной в центре круглой площадки усечения. Популярность этому волчку принес шотландский ученый Уильям Томсон, известный также как барон Кельвин, поскольку первым заинтересовался необычным вращением подобного волчка с научной точки зрения.

Эта игрушка напоминает игрушку «неваляшку» тем, что отличается устойчивым равновесием благодаря своему центру массы, расположенному немного ниже центра сферы. Если раскрутить ось волчка на ровной поверхности, то он, вращаясь с большой скоростью, постепенно станет наклоняться до касания верхушкой оси поверхности и, с подскоком, встанет на верхушку оси, а затем, уже в перевернутом состоянии, продолжит свое вращение на ручке-оси. Постепенно силы трения замедлят вращения волчка, он опять перевернется и, вращаясь опять на сферическом основании, остановится.

Подобное вращение оказывается не вполне ожидаемым. Во время своего вращения волчок по не вполне понятной причине, перескакивая, меняет состояние устойчивого равновесия на неустойчивое. Загадка такого поведения волчка кроется в непростой динамике вращающегося гироскопа, которым с точки зрения физической механики китайский волчок и является.

Поведение любого волчка во время вращения определяется несколькими факторами. Прежде всего, важна точность изготовления волчка и степень симметричности распределения всей массы вокруг оси вращения. Даже самые малые биения заставят волчок попрыгивать и не позволят ему вращаться сколько-нибудь продолжительное время. Не меньшее значение имеет форма и материал волчка – они определяют его инерционность и величину силы трения о воздух. Чем больше инерционность волчка, тем дольше он будет вращаться, а шероховатая поверхность, как и большая площадь контакта с поверхностью на которой волчок вращается, будут тормозить вращение. Пожалуй, наиболее существенную роль играет именно последнее обстоятельство. Идеальным случаем была бы площадь контакта, близкая к нулю и сведенная в точку. Китайский волчок близок к этому – абсолютно жесткие сфера и плоскость имеют контакт именно в

точке, а при наклоне оси вращения точка контакта смещается по поверхности сферы. Когда в самом начале вращения волчка центр массы смещается от вертикальной оси на небольшое расстояние и возникает *центробежная сила инерции*. Эта сила направлена от оси вращения и численно равна $F = MR\Omega^2$, где M – вращающаяся масса, Ω - угловая скорость вращения и R - радиус орбиты вращения.

При дальнейшем вращении ось симметрии волчка под действием этой центробежная сила инерции наклоняется все больше и больше, а точка опоры перемещается по поверхности сферы, постепенно приближаясь плоскости среза. В тот момент, когда ножка-ось волчка касается плоской поверхности, центробежная сила инерции заставляет перейти точку опоры на эту ножку-ось, и в дальнейшем он будет вращаться на острой ножке точно также как и классический волчок. За счет действия силы трения энергия вращения постепенно снижается, и волчок начинает описывать расширяющую коническую поверхность, постепенно наклоняется, и в конце концов точка опоры с ножки-оси перейдет опять на сферу, а затем, после недолгого вращения, волчок остановится.

Центробежную силу инерции часто путают с *силой центростремительной* поскольку обе они одновременно сопровождают вращение любого материального тела. Очень важным является понимание того, что для любого вращения необходимы как минимум два тела - одно тело нужно для того, чтобы заставить искривлять траекторию движения другого. Так, например, чтобы заставить вращаться камень на веревке, непременно нужна вращающая и удерживающая его рука. При этом на камень действует центростремительная сила, направленная к руке, а на саму руку действует центробежная сила реакции, которая направлена от центра вращения. У волчка роль удерживающего тела играет его ось, вокруг которой симметрично изменяют траекторию своего движения множество жестко связанных с нею материальных точек, представляющих, собственно, сам волчок. Центростремительные силы действуют именно на эти материальные точки, и они всегда направлены к центру вращения. А вот на ось действует центробежная сила реакции, которая направлена в противоположном направлении, то есть наружу по отношению к телу волчка.

В отношении китайского волчка интересно еще и то, что, запустив волчок вращаться по часовой стрелке и наблюдая за ним со стороны, после переворота мы будем видеть, что он вращается в том же направлении – по часовой стрелке. Однако если нарисовать на волчке стрелку, то, запустив его и остановив в вертикальном положении сразу после переворота, мы обнаружим, что стрелка, перевернута и собственное вращения волчка происходит в другую сторону. Это объясняется тем, что при смещении точки опоры, в момент времени, когда ось симметрии волчка горизонтальна, сам волчок вокруг этой оси не вращается, в это время он вращается вокруг невидимой вертикальной оси, но, проходя горизонтальную плоскость, это вращение меняет свое направление.

1.18 «Кубик Рубика» (Тема - Вращательное движение, механизмы на его основе)

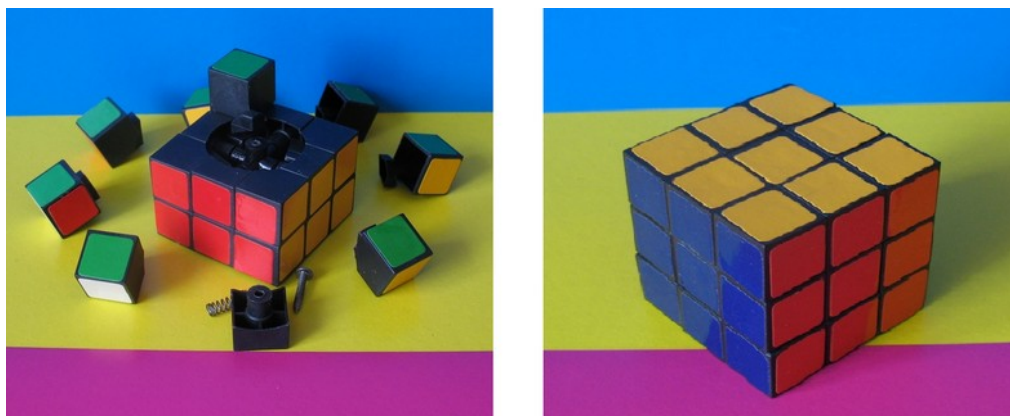


Фото 18

История этой игрушки интересна тем, что её изобрел, запатентовал в 1977 году и затем наладил производство венгерский не механик, инженер или ученый, а преподаватель промышленного дизайна и архитектуры Эрно Рубик. Впоследствии он стал первым официальным миллионером социалистических стран Восточного блока, распавшегося через 4 года. Своей целью изобретатель не ставил создание новой игрушки или сувенира, с помощью необычной головоломки он полагал повысить у студентов способность к пространственному воображению, необходимому при изучении так называемой «теории групп».

Эта весьма непростая математическая теория представляет собой один из разделов общей алгебры, и разработал ее в первой половине XIX века Эварист Галуа. Он нашел метод математического описания симметричных объектов. Под такими объектами понимаются не только сугубо математические абстракции, но и вполне материальные структуры - от молекул и кристаллов до замысловатых раковин, совершенных архитектурных сооружений и даже спиральных галактик. Теория групп продолжает интенсивно изучаться и развиваться благодаря тому, что ее приложения оказались весьма продуктивными и востребованными во многих направлениях современной науки и техники, например в кристаллографии, архитектуре, компьютерной графике и др.

Интересен механизм игрушки, который многократно усовершенствовался и сегодня существует множество его вариаций. В середине игрушки расположена крестовина из трех маленьких цилиндров, пересекающихся под прямыми углами в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. К концам крестовины, с помощью подпружиненных винтиков, крепятся шесть фигурных деталей, которые представляют собой как бы половинки кубиков с одной из граней в виде вогнутой сферы. Противоположная грань у каждого 6-ти таких полу-кубиков имеет свой цвет. Восемь кубиков выполнены с выступами, которые не видны снаружи и пружинисто соприкасаются еще с одним центральным полу-кубиком на оси. Эти восемь кубиков внутри игрушки образуют своими выступами многоугольник, близкий к сфере. Поскольку все детали игрушки сжаты пружиной не слишком сильно, при небольшом усилии они могут смещаться по сферической поверхности. Перемещая таким образом детали игрушки и меняя сочетания цветов отдельных граней, можно получить невообразимо большое количество вариаций: 43 252 003 274 489 856 000, или более 43 квинтиллионов комбинаций. Причем доказано, что из любой такой комбинации привести игрушку к исходному состоянию с 6-тью гранями, окрашенными в один цвет можно всего за 20 поворотов.

Любопытен тот факт, что природа не наделила ни одно из живых существ органом или частью тела, способной совершать вращательное движение вокруг неподвижной оси.

Конечно, рука человека или хвост животного способны описывать круги, но и в том, и в другом случае в суставе нет вращения, а происходит только шарнирный поворот. Механизмы, в которых присутствуют вращающиеся элементы, появились только тогда, когда их сумел изобрести человек и первыми из них, были повозки на колесах, мельничные жернова и гончарные круги. Практически одновременно с их изобретением возникла задача регулировки скорости вращения, и преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

Решающую роль в решении этой задачи сыграло изобретение *шестерней*, которые появились в Древнем Египте и передавали вращение от водяного колеса в системах орошения. Первые шестерни представляли собой деревянные колеса с цилиндрическими выемками и штырям на ободах, немногим позже шестерни начинают изготавливать уже из металла. В Античные времена был изобретен *кривошипно-шатунный* механизм, который широко применялся в качестве привода от вращающегося водяного колеса и преобразовывал вращение в возвратно-поступательное движение необходимое при распиловке бревен. Тогда же вращательное движение повсеместно используется в *лучковых сверлильных механизмах* и примитивных *токарных станках* с лучковым или ножным приводом

В средние века начинают вращаться ветряные мельницы - изобретен прообраз современного пропеллера, до недавнего времени основного авиационного двигателя. Опять-таки следует обратить внимание на то, что ни одно творение природы не использует для полета элементов, вращающихся на оси, хотя некоторые семена растений и вращаются в полете.

С совершенствованием и усложнением механизмов актуальной становится задача изменения направления вращения под произвольным углом и появляется *карданная передача*. Бурное развитие механизации в заводских цехах эпохи промышленной революции приводит к повсеместному применению паровых машин. Простые и надежные *ременные передачи* повсеместно используются для передачи вращения и управления его скоростью. Позднее им на смену придут *коленные валы*, *конические фрикционы* и *шестеренчатые редукторы* - *цилиндрические*, *конические*, *червячные* и *планетарные*.

Сегодня существуют и до определенной степени малоизвестные или применяющиеся весьма ограниченно механизмы вращения. Так относительно редко сегодня можно встретить *гибкий вал* и *кулачковый механизм*, *шарниры равных угловых скоростей* или *цепную передачу*.

Пожалуй главным, необходимым и самым распространенным элементом любого механизма с вращающимися на оси деталями являются *подшипники* - механические узлы способные обеспечивать многократный поворот какой-либо оси на 360° в неподвижной опоре. Основной задачей любого подшипника является снижение сопротивления вращающему моменту за счет уменьшения силы трения, а также как следствие, уменьшение степени износа трущихся деталей. Разновидностей подшипников существует очень много, но основных типов всего пять:

- подшипники трения,
- подшипники качения,
- магнитная подвеска,
- гидравлические подшипники,
- пневматические подшипники.

Самые простые по конструкции, конечно, подшипники скольжения, где силу трения снижает смазка или специальный вкладыш из антифрикционного материала. Их главным преимуществом является возможность воспринимать большие нагрузки и малые радиальные биения, а недостаток обусловлен быстрым износом.

Подшипники качения разделяются по типу тел вращения, находящихся между подвижной и неподвижной обоймами. Передавать вращение кроме шариков могут цилиндры и конусы. Эти подшипники хороши тем, что при соответствующем выборе

конструкции они могут воспринимать значительные усилия, направленные вдоль оси вращения и то, что их размеры могут быть достаточно велики. Недостатком подшипников качения является высокая чувствительность к вибрациям и ударным нагрузкам.

Главной особенностью магнитных подшипников является отсутствие непосредственного контакта между вращающимся валом и опорами, зазор между ними образуется за счет магнитной силы отталкивания. Существуют две принципиальных схемы - активные и пассивные. В активных магнитных подшипниках ротор изготавливается из стального сплава с большой магнитной проницаемостью, в нем наводятся вихревые токи от электромагнитных катушек сложной формы, размещенных в статоре. Для того чтобы силы электромагнитного взаимодействия позволяли сохранять постоянный зазор между ротором и статором электромагниты последнего подключаются к автоматическим системам контроля и управления. Такие системы являются весьма дорогостоящими, и это ограничивает область применения. Пассивные магнитные подшипники предполагает использование постоянных магнитов, как в роторе, так и в статоре. Безусловно, у таких подшипников просматриваются большие перспективы, но пока в этом направлении ведутся только исследовательские работы без сколь либо значимых практических результатов.

Гидравлические подшипники, по сути, являются подшипниками скольжения с увеличенным слоем жидкой смазки, которая подается принудительно с помощью компрессоров и увлекается в зазор за счет геометрии вращающегося вала. В пневматических подшипниках вместо жидкости роль смазки играет сжатый газ. Недостатком таких подшипников является необходимость герметизации, что усложняет конструкцию и обслуживание. Однако у них есть и существенные преимущества перед другими видами подшипников - чрезвычайно низкое трение, отсутствие вибраций и очень долгий срок службы.

1.19 «Астроджекс» (Тема - Момент импульса)



Фото 19

Игрушка представляет собой три одинаковых шарика, два из них прочно привязаны к тонкому шнуру, а третий, благодаря сквозному отверстию, свободно скользит по шнуру. Если взять в руку один из двух шариков, привязанных к шнуру и начать поддерживать его в вертикальной плоскости, то движения двух других шариков будут неожиданно сложными и забавными. Траектории движения этих двух, летающих на шнуре шариков, будут столь непростыми, что задача их математического описания не поддается решению точными аналитическими методами, а предугадать, как будут двигаться шарики можно лишь приблизительно, с привлечением численных методов вычисления.

Эта игрушка относится к разряду *skill toy* - в дословном переводе этот термин означает «игрушка, требующая навыков». И это не случайно, поскольку приобретение отточенных навыков управления полетом шариков занимает не часы или дни, а недели и месяцы. Изобрел астроджекс в 1986 году физик аспирант Корнелльского университета Ларри Шоу, через год он его запатентовал, а в последствии успешно организовал производство и продажи. История весьма схожа с историей кубика Рубика, но астроджекс лишь недавно стал набирать взрывную популярность. Амбициозным подросткам, сумевшим овладеть ею в совершенстве, она позволяет выделиться своим умением среди сверстников, получив при этом массу положительных эмоций. Астроджекс даже сумел попасть в три категории книги рекордов Гиннеса.

Свое «космическое» название игрушка получила вероятно потому, что два шарика летающие вокруг общего центра массы очень похожи на весьма распространенные в нашей Галактике космические объекты, так называемые «двойные звезды». Они состоят из двух звезд, связанных между собой гравитацией и вращающихся вокруг общего центра масс. Практически также вращается Луна вокруг общего центра масс с Землей.

Точные законы движения Луны и планет Солнечной системы, наблюдаемых в ночном небе, а также их связь с перемещением Солнца по дневному небосклону, были загадкой для астрономов на протяжении тысяч лет. Лишь относительно недавно,

немногим более 400 лет, а точнее в 1609 году в Праге, Иоганом Кеплером был опубликован научный труд «Новая астрономия», где были изложены два первых фундаментальных закона астрономии, раскрывшие эту тайну. *Первый закон Кеплера* указывает, что движение всех планет вокруг Солнца происходит по эллиптическим орбитам, а *вторым законом* утверждается, что радиус-вектор, связывающий Солнце и любую планету ометает равные площади за одинаковые промежутки времени. Эти законы были сформулированы Кеплером в результате почти двадцатилетнего труда по анализу таблиц астрономических наблюдений, которые проводил датский астроном Тихо Браге при непосредственном участии и самого Кеплера. Установить связь между размерами орбит и временем обращения по ним планет оказалось более сложной задачей, ее решение было найдено Кеплером лишь спустя 10 лет, в 1619 году. Тогда он в книге «Гармония мира» публикует свой *третий закон*, согласно которому время одного оборота любой планеты вокруг Солнца, возведенное в квадратную степень пропорционально кубу среднего расстояния до Солнца на эллиптической орбите.

Законы, открытые Кеплером, стали огромным научным достижением, позволившим привести к системе простых правил результаты вековых астрономических наблюдений. Однако свои открытия Кеплер сделал на основе индуктивного метода познания, при котором отдельные, частные наблюдения, суждения и выводы приводят к решающему обобщению. Поставленная им задача определения скоростей и траекторий планет была решена лишь в части кинематики.

Динамику таких движений удалось описать математически только после того, как Исааком Ньютоном был открыт закон всемирного тяготения и сформулированы три главных закона динамики. В своем знаменитом труде «Математические начала натуральной философии», опубликованном в 1687 году он, путем геометрических построений, показал, что под действием силы гравитационного притяжения космические объекты могут двигаться не только по круговым и эллиптическим орбитам, но также и по параболическим и гиперболическим траекториям, характерным для комет и астероидов. Так называемая *задача двух тел* - определение параметров движения двух материальных точек, притягивающихся силой гравитационного притяжения обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними, была решена в аналитической форме Даниилом Бернули и Леонардом Эйлером.

Этой далеко не простой задаче впоследствии позднее уделяли внимание многие выдающиеся физики и математики. Более того, еще в далеком 1795 году Пьер-Симон Лаплас сделал предположение о возможности существования космических объектов, представляющих собой очень массивные тела, не способные испускать световые корпускулы. Сегодня такие объекты в науке принято называть *черными дырами* и хотя пока, с абсолютной достоверностью они, и не обнаружены физически, теоретические исследования в этом направлении активно развиваются на базе теории относительности и релятивистских представлений. Вывод же Лапласа был основан на представлениях классической механики Ньютона и динамики в рамках решения *ограниченной задачи двух тел*, когда необходимо определить параметры вращения массы m , несравнимо меньшей по сравнению с массой притягивающего тела M . Логика и рассуждения Лапласа были таковы. Пусть притягивающее тело имеет радиус R и массу M , а малое тело m вращающегося по орбите, которая почти совпадает с поверхностью большого тела, удерживается на этой орбите лишь силой гравитационного притяжения. Чтобы тело m не улетело с орбиты или не упало на притягивающее тело M , его скорость должна точно

соответствовать равенству $V = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$, где G - гравитационная постоянная. Это

соотношение примечательно тем, скорость удержания малого тела не зависит от его массы, а потому данное равенство можно считать применимым и к корпускулам света. Тогда, если считать скорость света C известной, для любого притягивающего тела можно найти такое значение его радиуса R_g , при котором корпускулы света под действием силы

гравитационного притяжения будет двигаться по круговой траектории вдоль поверхности сферы радиусом R_g и не смогут улететь прочь.

Удивительным образом выводы, сделанные на базе классической механики, были полностью подтверждены в 1916 году Карлом Шварцшильдом в рамках релятивистских представлений общей теории относительности. Именно тогда он предложил называть *гравитационным радиусом* радиус сферически симметричного материального тела,

определяемый соотношением $R_g = \frac{2GM}{C^2}$. Физически это означает, что гравитационный радиус может быть определен для любого космического тела и соответствует радиусу такой орбиты, на которой вторая космическая скорость равна скорости света. Полагая, что скорость света $C = 299\,792\,458$ м/с, гравитационная постоянная $G = 6,674\,30 \times 10^{-11}$ м³ кг⁻¹с⁻¹, а также зная соответствующие массы легко рассчитать гравитационный радиус Земли и Солнца.

Так при массе Земли равной $M = 5,97 \times 10^{24}$ кг. ее гравитационный радиус равен:

$$R_{gE} = \frac{2 \times (6,674\,30 \times 10^{-11}) \times (5,97 \times 10^{24})}{(29792458)^2} = 0,00886\,м, \text{ или примерно } 0,9 \text{ см.}$$

При массе Солнца равной $M = 1,9891 \times 10^{30}$ кг. его гравитационный радиус равен:

$$R_{gE} = \frac{2 \times (6,674\,30 \times 10^{-11}) \times (1,9891 \times 10^{30})}{(29792458)^2} \approx 299143\,м, \text{ или примерно } 3 \text{ километра}$$

Можно сравнить истинные размеры Земли и Солнца с их гравитационными радиусами:

При истинном радиусе Земли 6400 км, ее гравитационный примерно равен примерно 9 миллиметрам. При истинном радиусе Солнца около 700 000 километров, его гравитационный радиус составляет менее 3 километров.

Если рассматривать гравитационное взаимодействие не двух, а трех и более тел, то строгого математического решения этой задачи, она называется «задачей n -тел», не существует, что было доказано в 1889 году французским математиком, физиком и астрономом Анри Пуанкаре.

1.20. «Игрушечная ракета» (тема – *Реактивное движение*)



Фото 20

В реактивной игрушке, показанной на фото. 23 в качестве рабочего тела используется обыкновенная вода. Энергию необходимую для полета мы, с помощью насоса и собственных мускулов, запасем в сжатом воздухе, который содержится над водой в небольшой полости ракеты. Расширяясь воздух выталкивает воду с большой скоростью через узкое отверстие – *сопло ракеты*, за счет чего она совершает полет высотой в пару десятков метров. Игрушек, основанных на реактивном принципе движения достаточно много, но сам принцип является уникальным – это пока единственный способ преодолеть земное тяготение и вырваться в открытый космос.

В основе принципа реактивного движения лежит второй закон Ньютона, согласно которому силы, действующие между двумя телами равны и противоположны по направлению. В реактивном движении одно тело отталкивает другое, а само движется в противоположном направлении. В настоящее время самыми мощными и распространенными являются химические реактивные двигатели – твердотопливные или жидкостные. Ракеты, оснащенные такими двигателями, движутся отбрасывая с продукты сгорания ракетного топлива с огромными скоростями достигающими до 4,5 км/с.

Реактивный принцип движения можно обнаружить не только в технике, созданной людьми, в природе его используют многочисленные животные – осьминоги, кальмары, медузы, личинки стрекозы. Даже некоторые, казалось бы, неподвижные ракушки могут перемещаться, отбрасывая воду, подобно тому, как это делают ракушки под названием «морские гребешки».

Сегодня теория реактивного движения хорошо изучена и описывается разделом механики под названием *механика тел переменной массы*. Ее основы были заложены русским механиком Иваном Мещерским, который в 1897 вывел основную формулу реактивного движения. В дальнейшем развитии этой теории, направленной на создание ракетной техники и освоение космического пространства, сыграл основную роль русский ученый и изобретатель Константин Циолковский. Он изобрел многоступенчатую ракету, которая, по мере сгорания топлива, отбрасывает ставшие уже не нужными опустевшие части корпуса (ступени), и продолжает полет с уменьшенной массой. Без такого способа

экономии топлива даже теоретически невозможно достижение первой космической скорости, необходимой для выхода ракеты с химическим топливом на круговую орбиту вокруг Земли. В 1903 году Циолковский предложил схему ракеты на жидкостном ракетном топливе и теоретически доказал ее пригодность для межпланетных перелетов. Впервые на практике такие реактивные двигатели были созданы и испытаны американским ученым Робертом Годаром в 1926 году и немецким ученым Германом Обертом в 1929 году. Первая советская ракета на жидком топливе, построенная под руководством Сергея Королева, полетела в 1933 году.

Впервые искусственный спутник Земли был выведен на эллиптическую орбиту вокруг Земли в 1957 году с помощью ракеты «Спутник-1» созданной в СССР на базе боевой межконтинентальной баллистической ракеты Р-7. Спутник представлял собой металлическую сферу диаметром 58 сантиметров и весом 83,6 килограмма. Внутри спутника был смонтирован радиопередатчик с источниками питания, который с помощью четырех стержневых антенн равномерно излучал во все стороны прерывистый радиосигнал на общедоступной частоте. Никакого научного или иного оборудования на спутнике не было, тем не менее сам его запуск означал начало освоения человеком космического пространства.

Второй искусственный спутник «Спутник-2» был запущен также в СССР, спустя всего лишь месяц после первого, и у него на борту находилась собака Лайка с системой жизнеобеспечения. Этот спутник имел целью доказательство того, что живые существа могут жить на орбите в условиях невесомости. К сожалению, системы мягкого возвращения и спуска на Землю этот полет не предусматривал и, хотя на борту была возможность питания, Лайка погибла на орбите. Успешный запуск спутника с живыми существами на борту и их благополучным возвращением на Землю был осуществлен СССР в 1960 году, когда космический аппарат «Спутник-5», сделал 17 витков вокруг Земли с собаками Белка и Стрелка на борту. После полета, длившегося около 25 часов, в течение которого был проведен ряд медико-биологических экспериментов, обе собаки невредимыми вернулись на Землю.

Третьим искусственным спутником Земли стал американский спутник «Эксплоуэр-1», запущенный в 1958 году. Он весил в 10 раз меньше первого, всего 8 килограммов, но имел на борту кроме радиопередатчика и датчиков температуры еще два прибора. Один из них был *счетчик Гейгера* – прибор для измерения радиации, а другой мог фиксировать попадание микрометеоритов. В ходе полета этого спутника счетчик Гейгера подтвердил наличие в ближайшем космосе вокруг Земли областей с повышенной радиацией, так называемых *радиационных поясов*. Такие области образуются при захвате магнитным полем Земли заряженных космических частиц - протонов, электронов, альфа-частиц и др. Гипотезу о существовании радиационных поясов, находящихся на расстоянии от Земли от 5000 до 17000 километров, впервые выдвинул американский ученый Ван Аллен и впоследствии они стали в его честь называться «поясами Ван Алена».

В бурном развитии космонавтики, которое началось сразу после запусков первых спутников можно отметить следующие важнейшие этапы:

- первый космический полет Юрия Гагарина в 1961 году
- высадка Нила Армстронга и Базза Олдрина на поверхность Луны в 1969 году
- первая долговременная обитаемая космическая станция «Салют-1» на орбите Земли в 1971 году
- создание международной космической станции на орбите Земли – 1998 год

В ближайших планах колонизация Луны и Марса. Реализация столь грандиозных задач будет проводиться с помощью уже испытанных и технически отработанных ракетносителей на жидком ракетном топливе, однако существуют проекты и других технических решений.

Уже сегодня существуют электрические ракетные двигатели - ионные, плазменные, электротермические и другие. У всех таких двигателей для разгона частиц рабочего тела

вместо химической реакции горения служит электрическая энергия. Частицы рабочего тела, а ими могут быть ионизированные молекулы различных газов или вещество, разогретое до состояния плазмы, ускоряются в электростатическом поле, электромагнитом или в комбинации обоих полей. Электрические ракетные двигатели просты по конструкции, компактны, имеют небольшую массу, просты в управлении, а также для них нет необходимости в сложных системах хранения рабочего тела. Однако наряду с очевидными преимуществами таких двигателей, им присущ принципиальный недостаток – малая тяга, составляющая всего десятки ньютонов по сравнению с химическими двигателями, способными развивать тягу в сотни тысяч ньютонов. Тем не менее, у электрических ракетных двигателей есть своя ниша применения. Если химические двигатели развивают огромную тягу на относительно небольшом промежутке времени, то электрические могут работать с малой тягой, но очень и очень долго. Это обстоятельство ставит их вне конкуренции при полетах к самым удаленным телам Солнечной системы, а также, возможно, даже к выходу за ее пределы. Кроме того, электрические ракетные двигатели могут эффективно использоваться орбитальными космическими станциями для коррекции параметров орбиты.

Еще одним перспективным направлением развития космической техники является создание ракетных двигателей, использующих энергию атома. Существуют разработки нескольких типов таких двигателей – ядерные, радиоизотопные и термоядерные.

Ядерные ракетные двигатели — это реактивные двигатели, в которых рабочее тело, чаще всего водород или аммиак, разогревается до больших энергий за счет реакции управляемой реакции распада ядерного топлива в компактном атомном реакторе. Практические работы по созданию таких ядерных реактивных двигателей проводились только в США и СССР, а впервые были начаты в 1958 году Американским проектом «Орион». Этот проект был закрыт в 1965 году в связи с большими затратами по Лунному проекту и развитием программы «Спейс Шатл». В СССР к 1980 году был создан ядерный ракетный двигатель РД0410, который на испытаниях показал тягу в 35,2 кН, но в летающих ракетах использован не был. В 2018 году появились сообщения, что США рассматривают перспективы возобновления работ по использованию ядерных ракетных двигателей в полетах к Луне.

Радиоизотопные ракетные двигатели атомных реакторов в своем составе не содержат, нагрев рабочего тела, того же водорода или аммиака, до больших температур происходит здесь за счет энергии, выделяемой при постоянном радиоактивном распаде вещества ядерного топлива. В качестве таких веществ используется, например изотопы урана U-232 и плутония Pu-238. Их периоды полураспада составляют 67 и 88 лет соответственно, в течение которых эти изотопы обеспечивает постоянный и высокий выход энергии. Существуют схема радиоизотопных двигателей, в которых продукты радиоактивного распада сами используются для создания реактивной струи. Еще одна разновидность таких двигателей предусматривает преобразование тепловой энергии распада изотопов в энергию электрическую, и ее последующее использование в электрических ракетных двигателях.

Использование термоядерной энергии термоядерного синтеза предусматривал первый, хорошо проработанный теоретически, проект «Дедал», который разрабатывали сотрудники Британского межпланетного общества с 1973 по 1977 года. Проект предполагал создание обитаемого межзвездного космического корабля с целью достижения звезды Бернара, красного карлика, удаленного на расстоянии 5,9 световых лет от Солнца. Возглавлял проект исследования Алан Бонд. Оказалось, что основная сложность состоит в практической реализации ряда технологий, необходимых для использования в конструкции корабля - импульсный термоядерный ракетный двигатель с инерционным удержанием плазмы, щит из бериллия, а также необходимость запаса гелия-3. Такой корабль, к сожалению, пока невозможно построить даже в том случае, если за его реализацию возьмется все человечество.

Хотя современные разработки ракетных двигателей, использующих термоядерную реакцию синтеза для нагрева рабочего тела также далеки от практической реализации, работы в этом направлении продолжаются. Из новейших публикаций особый интерес представляет термоядерный двигатель (Direct Fusion Drive, DFD) разрабатываемый в Принстоне (США), компанией "Princeton Satellite Systems". Разработчики утверждают, что если всё пойдёт по графику, то первый полёт с таким двигателем может состояться уже в 2028 году.

2. Жидкости и газы

2.1 «Несмешиваемые жидкости» (тема – Агрегатные состояния вещества)



Фото 21

Игрушка представляет собой прозрачный пластиковый сосуд, замысловато и симметрично разделенный герметичными, тоже прозрачными перегородками. В сосуде содержатся три несмешиваемые жидкости – одна из них прозрачна и отличается по химическому составу от двух других, подкрашенных в разные цвета и более плотных жидкостей. Подкрашенные жидкости отделены друг от друга прозрачной перегородкой и в статичном состоянии игрушки скапливаются на дне. Если игрушку перевернуть, то под действием силы тяжести обе цветные жидкости начинают стекать вниз через небольшие отверстия в перегородках, при этом опускаясь сквозь прозрачную жидкость, не смешиваются с ней и образуют элегантные каплевидные фигуры. С помощью игрушки можно рассказать об агрегатных состояниях вещества и о различных сочетаниях газов и жидкостей.

Вся материя нашей Вселенной состоит из атомов и молекул, и все вещество, доступное органам нашего восприятия, представляет собой набор этих атомов и молекул. Существует три агрегатных состояния вещества: твердое, жидкое и газообразное, или как еще говорят - твердая, жидкая или газообразная фаза. То, в каком из этих трех состояний находится вещество, зависит от сил взаимодействия атомов и молекул между собой, определяющих скорость их движения друг относительно друга.

Твердое агрегатное состояние вещества характеризуется тем, что оно всегда сохраняет свою форму - его атомы и молекулы имеют относительно небольшую скорость колебательного движения вокруг центральных положений, которые неподвижны в пространстве.

В газообразном агрегатном состоянии вещество представляет собой смесь отдельных, очень быстро движущихся друг относительно друга, атомов или молекул при

этом силы электромагнитного взаимодействия не позволят им притягиваться друг к другу. Самым распространенным атомарным газом во Вселенной является водород, ученые оценили его общую массу в нашей Галактике как несколько миллиардов масс Солнца. Скопления такого газа образуют горячие газовые туманности, большинство из которых сосредоточены в области Млечного Пути. С понижением температуры, скорость атомов уменьшается, и они уже могут образовать молекулы. Самая низкая из официально зарегистрированных естественных температур молекулярного газа это 271°С, ее обнаружили в молодой космической туманности Бумеранг, которая считается самым холодным местом в нашей Вселенной. Около 99 % массы всей межзвездной среды во Вселенной и примерно 2 % массы нашей Галактики состоят из молекулярного газа, представляющего собой смесь водорода (70 % от общей массы) и гелия (28% от общей массы). Остаточные 2% массы межзвездного вещества представляют собой более тяжелые газы и пылевые частицы самых различных химических элементов.

Благодаря тому, что в объеме любого газа атомы и молекулы движется с достаточно большой скоростью, при контакте двух разных газов атомы и молекулы одного из них легко могут проникать в промежутки между атомами и молекулами другого. Это свойство называется диффузией и дает возможность образования самых разных газовых смесей, составленных из любых газов, и в каком угодно их объемном соотношении (иногда их называют газовыми растворами). Самым распространенным примером газовых смесей является обычный воздух, представляющий собой смесь азота (78%), кислорода (21 %), аргона (0,93%) и углекислого газа (0.03%) и целого ряда других газов, очень малых по проценту объемного содержания. До недавнего времени считалось, после завершения процесса диффузии и получения равномерной по объему смеси любых газов их расслоение невозможно. Однако оказалось, что при достаточно высоком давлении, некоторые газовые смеси могут расслаиваться, например смесь гелия и этилена расслаивается уже при давлении в 100 атмосфер.

Не стоит путать газовые смеси, образовавшиеся в процессе диффузии и состоящие из нескольких газов и не вступающих в химическую реакцию, со сложными газами, которые состоят из атомов нескольких различных химических элементов, связанных силами электромагнитного взаимодействия. Типичным примером газовых смесей является воздух, а примерами сложных газов, могут послужить углекислый газ, состоящий из кислорода и углерода (CO_2) или куда более сложный газ - дифторхлорметан, состоящий уже из четырех химических элементов: углерода, водорода, фтора и хлора (CHF_2Cl).

Жидкое агрегатное состояние вещества имеет сходство, как с газообразным, так и с твердым состоянием – подобно газу жидкость может принимать форму того сосуда, в котором находится, а как твердое вещество имеет четкую границу своего объема. Однако скорости движения атомов и молекул в жидкостях гораздо меньше по сравнению с газами. В жидкостях энергия связей молекул намного больше, и расположены они гораздо плотнее из-за чего на границе раздела жидкостей всегда существуют силы поверхностного натяжения, создающие барьер, который молекулам необходимо преодолеть в процессе диффузии. Эти особенности внутреннего строения всех жидкостей разделяют их на те, у которых при смешивании молекулы могут образовывать химически связанные растворы, и те, у которых молекулы могут перемешиваться лишь механически, образуя так называемые эмульсии. Типичным примером раствора двух жидкостей является раствор спирта в воде, а эмульсию образуют при смешивании вода и бензин.

Чтобы разделить готовые растворы на изначальные компоненты необходимо использовать специальные технологии, например, возгонку или мембранные технологии. При мембранных технологиях используется особое физическое явление - осмос, суть которого состоит в самопроизвольной диффузии раствора через полупроницаемую мембрану с отверстиями (порами), очень малых размеров, диаметром 0,000005 метра и меньше. Такие технологии используются, например, при извлечении белков из молока и

молочной сыворотки. В процессе возгонки раствор нагревают а, поскольку температура кипения у каждого компонента различна, происходит их последовательное испарение и конденсация. Такой метод применяется, например, при разделении нефти на различные фракции.

В отличие от растворов эмульсии, будучи предоставлены сами себе, со временем, самопроизвольно расслаиваются и образуют четкую границу раздела, время такого расслоения зависит от химического состава компонент. Очень похожими на эмульсии бывают другие жидкие вещества – суспензии и их следует четко различать. Эмульсии – это смесь жидкостей, а суспензии — это смесь жидкости с твердыми частицами очень маленьких размеров. Типичным примером суспензии является очень жидкий цементный раствор.

Кроме растворов и эмульсий существуют такие сочетания жидкостей, в которых они не смешиваются вовсе. Если энергично и принудительно смешать такие жидкости в одном сосуде, они могут образовать некоторое подобие эмульсии, но очень на малое время и практически тут же расслоятся под действием силы тяжести. Это объясняется тем, что молекулы несмешиваемых жидкостей имеют достаточно сильный электростатический потенциал одинакового знака, а, как известно, одноименные заряды отталкиваются. Примерами таких сочетаний являются: вода-глицерин; вода – жирные масла; диэтиловый эфир – глицерин; ртуть – вода; фторсодержащие углеводороды (фреоны) - вода. Две именно таких жидкости, скорее всего глицерин и вода, и делают такой интересной описанную выше игрушку.

2.2 «Любвимер» (тема - Термодинамика)



Фото 22

Игрушка весьма похожа на широко известные песочные часы, состоящие из верхнего и нижнего стеклянного сосуда, соединенных перемычкой с небольшим отверстием. У таких часов нижний сосуд заполнен примерно на две трети мелкодисперсным песком. Игрушка имеет два принципиальных отличия от часов. Во-первых, в нижнем сосуде, вместо песка две трети объема занимает подкрашенный водный раствор легкокипящей жидкости, скорее всего эфира. Во-вторых, верхний и нижний сосуды, разделены друг от друга герметично впаянной стеклянной трубкой, которая в нижнем сосуде на пару миллиметров не достигает до дна.

Часть трубки в верхнем сосуде занимает почти половину высоты и стилизована под сердечко. На вершине сердечка миллиметровое отверстие, в нижней его части тоже отверстие, но немного меньшее, чем наверху. Весь объем игрушки свободный от жидкости заполнен парами эфира. Если температура паров в верхнем и нижнем сосуде одинакова, игрушка находится в термодинамическом равновесии и уровень жидкости остается неизменным. Однако, если охватить рукой нижний сосуд, то жидкость и пары легкокипящей жидкости постепенно начнут нагреваться, в силу законов газовой термодинамики начнет расти давление, под которым подкрашенная жидкость станет вытесняться в верхний сосуд.

Термодинамика – раздел физики, изучающий законы распределения, обмена и превращений различных видов энергии в сложных системах самых разнообразных материальных тел. Газовые законы термодинамики были открыты в конце XVIII - начале XIX веков английским ученым Робертом Бойлем и Джоном Далтоном, а также французскими экспериментаторами Эдмоном Мариоттом, Жаком Шарлем, Жозефом Луи Гей-Люссаком, Гильомом Амонтоном и другими. Авторство открытия того или иного из

этих законов по сей день вызывает споры между специалистами, а потому и называют их в разных странах по-разному.

Первый газовый закон (закон Бойля - Мариотта) гласит, что при постоянной температуре фиксированной массы газа $T = const$ изменение объема этого газа обратно пропорционально изменению его давления. Математически этот закон записывается как $P_1 V_1 = P_2 V_2$, а график зависимости объема от давления называется *изотермой*. Можно легко понять в чем суть этого закона, если представить себе цилиндр, заполненный газом и герметично закрытый подвижным поршнем. Если медленно перемещать поршень в ту или иную сторону, то объем газа в цилиндре под ним будет уменьшаться или увеличиваться обратно пропорционально объема газа под поршнем. Так, например если объем газа увеличится в два раза, его давление на поршень уменьшится ровно в два раза. При этом поршень необходимо перемещать достаточно медленно, чтобы избежать нагрева газа, который при быстром перемещении вступают в силу уже 2-й и 3-й газовые законы.

Второй газовый закон (закон Гей-Люссака или Шарля) гласит, что при постоянном давлении $P = const$ объем заданной постоянной массы газа определяется его температурой в прямо пропорциональной зависимости $V_1 V_2 = T_1 T_2$. График зависимости объема газа от его температуры называется *изобарой*. Наглядно представить себе работу этого закона можно на том же примере с цилиндром и поршнем, но только теперь пусть поршень будет совершенно свободно перемещаться в цилиндре при малейшем изменении объема газа под ним. Если газ в цилиндре нагреть до некоторой температуры, то он увеличится в объеме и это увеличение будет прямо пропорционально изменению температуры газа.

Третий газовый закон (закон Шарля или Гей-Люссака) описывает поведение газа при постоянном объеме $V = const$ и утверждает, что его давление определяется температурой в прямо пропорциональной зависимости $P_1 P_2 = T_1 T_2$. График зависимости объема газа от его температуры называется *изохорой*. Для наглядной работы этого закона следует представить себе уже не цилиндр с подвижным поршнем, а просто герметичный сосуд, заполненный газом. Если газ в сосуде нагреть до некоторой температуры, то он увеличится в объеме и это увеличение будет прямо пропорционально изменению температуры газа.

Приведенные выше газовые законы описывают поведение газов для тех случаев, когда один из трех параметров в газовой системе остается постоянным. Но чаще всего, в реальной жизни, одновременно меняются все три параметра – и температура и объем, и давление. Для описания таких процессов в 1834 году французский ученый Эмиль Клайперон объединил все газовые законы и вывел так называемое *уравнение состояния идеальных газов* - $\frac{PV}{T} = const$, позднее это уравнение стало носить также имя ученого.

Из уравнения Клайперона следует, что для фиксированной массы газа произведение давления газа в системе на его объем отнесенное к его температуре при отсутствии химических реакций всегда постоянно. Именно этому уравнению подчиняются физические процессы, определяющие работу игрушки.

Охватывая рукой нижний сосуд и нагревая ее мы, в соответствии с уравнением Клайперона, повышаем давление в жидкости и парах эфира над ней. При неизменном объеме верхнего сосуда, увеличившийся объем паров начинает вытеснять подкрашенную жидкость по трубке, она поднимется по трубке и через отверстия в сердечке начинает переливаться в верхний сосуд. Поскольку верхнее отверстие больше нижнего, то жидкость из него выливается небольшим фонтанчиком. Чем теплее рука, тем выше фонтанчик и быстрее поднимается жидкость. Если немного подождать, вся жидкость из нижнего сосуда переливается в верхний, давление паров в верхнем и нижнем сосудах выровняется и наступит термодинамическое равновесие. Теперь можно рукой охватить верхний сосуд и поднять температуру паров уже в нем, а в нижнем немного охладить.

Теперь, в соответствии с уравнением Клайперона, повышенное давление паров в верхнем сосуде, через отверстие в сердечке, будет вытеснять жидкость уже в нижний.

Подобные циклы нагрева можно повторить несколько раз, но, обычно, не более пяти – шести. При этом количество циклов будет в значительной степени зависеть от температуры окружающей среды - прохладно и циклов меньше, - тепло и циклов больше. Читатель, внимательно прочитав описанные выше законы газовой динамики, может сам объяснить такую зависимость.

2.3 «Пьющая уточка» (тема - Фазовые переходы)



Фото 23

Эта термодинамическая игрушка привлекает и удивляет тем, что может забавно качаться без видимого подвода энергии извне, причем как это может показаться, неограниченно долго. Игрушка представляет собой два полых шарообразных стеклянных сосуда – верхний пустой и нижний заполненный легкокипящей жидкостью. Сосуды герметично соединены стеклянной трубкой, которая своим нижним концом погружена в жидкость и почти касается дна нижнего сосуда. В средней части трубки жестко закреплены качающиеся опоры, с помощью которых игрушка может, наклоняется так, что верхний и нижний сосуды оказываются на одном горизонтальном уровне. Верхний сосуд стилизован под головку птички и покрыт ворсистой тканью. Если вся жидкость находится только в нижнем сосуде, центр тяжести стеклянной птички ниже опорных точек и это обеспечивает устойчивое равновесие игрушки в вертикальном положении. При наклоне игрушки, когда верхний и нижний сосуды находятся на одном уровне, стилизованный клюв опускается в небольшую емкость с водой на подставке и ворсистая ткань легко впитывает воду. В таком положении жидкость может переливаться по стеклянной трубке из нижнего сосуда в верхний.

Если изначально игрушка находится в статическом равновесии, то чтобы заставить ее качаться, необходимо смочить водой ворсистую ткань на верхнем сосуде. Спустя две – три секунды вода начнет испаряться и начнется так называемый *фазовый переход первого рода*. Хотя фазовых состояний вещества всего три – твердое, жидкое и газообразное, фазовых переходов существует шесть:

- жидкость может превратиться в пар и обратно - *испарение и конденсация*;
- твердое тело может превратиться в жидкость и обратно - *плавление и кристаллизация*;
- твердое тело может сразу превратиться в пар и наоборот - *сублимация*, например испарение сухого льда и *десублимация*, например, появление кристаллов льда на поверхности стекла известное нам как изморозь.

Любой процесс фазового перехода первого рода сопровождается либо поглощением тепла, либо его выделением. Если в процессе перехода вещества из одной фазы другую тепло выделяется, такой фазовый переход называется *экзотермическим*.

Самым наглядным примером экзотермического фазового перехода является горение угля или бензина. Если тепло поглощается, такие процессы называются *эндотермическими* и самый очевидный из них - плавление, при котором необходим подвод внешней тепловой энергии и нагрев твердого вещества чтобы разорвать межмолекулярные связи, и оно из твердой фазы перешло в жидкую. Испарение тоже эндотермический процесс, чтобы часть жидкости превратилась пар, необходима такая температура жидкости, которая обеспечит ее молекулам скорость, достаточную для преодоления сил поверхностного натяжения, и они, оторвавшись от основного объема, перешли в газообразное состояние. Обычно, такой процесс мы называем кипением, и чтобы его поддерживать необходимо все время подводить энергию извне. Впрочем, для воды, чтобы часть молекул отрывалась от поверхности и превращалась в пар, достаточно и комнатной температуры, вода *испаряется*. Вылетевшие из воды молекулы, уносят часть энергии, и чтобы восполнить потерю энергии, жидкость поглощает ее из окружающей среды, именно поэтому процесс испарения является эндотермическим. При этом поглощение водой внешней энергии происходит по всему объему, а испарившиеся молекулы уносят энергию только с поверхности поэтому самые близлежащие слои воды немного охлаждаются, примерно на один – полтора градуса Цельсия.

Это же происходит и в нашей игрушке, когда вода начнет испаряться часть молекул уносясь с поверхности ворсистой ткани, «головы птички» забирают с собой часть тепловой энергии, ткань и стекло под ней начинают охлаждаться, объем паров легкокипящей жидкости в верхнем сосуде уменьшится. В соответствии с уравнением состояния идеальных газов Клайперона, уменьшение температуры и объема паров обеспечит разницу давлений в верхнем и нижнем сосуде и это обеспечит подъем легкокипящей жидкости из нижнего сосуда в верхний. Подробнее об уравнении Клайперона» можно прочитать в описании к игрушке № 2.2 «Любвимер». Когда достаточная масса жидкости окажется в «голове птички» центр тяжести переместится в положение над опорами, игрушка опрокинется и займет горизонтальное положение. После опрокидывания стилизованный «клюв» птички, обмотанный тканью, ненадолго погрузится в воду и, пропитавшись, восполнит убыль испарившейся. Одновременно часть паров легкокипящей жидкости из верхнего сосуда переместятся в нижний, центр массы опустится, и игрушка займет вертикальное положение. Ну а далее повторится как процесс испарения, так и качание игрушки.

Может создаться впечатление, что на принципе действия игрушки можно построить реальный вечный двигатель, который будет работать неопределенно долго и совершенно бесплатно. Однако это, конечно не так, (подробнее о «вечных двигателях можно прочитать в описании к игрушке № 1.9 «Гравитационная тележка»). В действительности игрушка будет работать только до тех пор, пока не испарится вся вода, необходимая для смачивания «клюва уточки». При этом, если рассматривать воду как «топливо» для работы нашего игрушечного двигателя, то его коэффициент полезного действия будет настолько мал, что какой-либо практической пользы извлечь вряд ли удастся. Конечно, кроме удовольствия от наблюдения за колебаниями «птички» и изучения физических принципов, лежащих в основе ее работы.

2.4 «Картезианский водолаз» (тема – Гидростатика)



Фото 24

Игрушка представляет собой полый поплавок, стилизованный под какую-нибудь фигурку человека или фантастического существа. Поплавок отгружен таким образом, что оказывается почти полностью погруженным в воду. Нижняя часть внутренней полости поплавка свободно сообщается с водой, которая налита в герметичный сосуд с упругой крышкой или упругими стенками. Если нажать рукой на крышку сосуда или сжать его стенки, давление внутри него возрастет. Повышенное давление будет сжимать воздух над поверхностью воды и в полости поплавка, при этом объем воды практически не изменится. Поскольку вес поплавка не меняется, а его объем за счет сжатия воздуха сокращается, архимедова сила плавучести становится меньше веса поплавка, и он начнет медленно опускаться в толще воды, словно настоящий водолаз. Когда рука прекращает давить на сосуд, давление внутри него становится прежним, объем воздуха в полости поплавка восстанавливается, архимедова сила становится немного больше веса поплавка, и он всплывает. Играть таким образом можно сколько угодно.

Эта игрушка своим названием обязана латинскому псевдониму «Картезиус» великого французского философа и ученого, настоящее имя которого было Рене Декарт. И первое описание похожего устройства в 1648 году изложил в своем научном труде «Сопrotивление воды сжатию» современник Декарта, итальянский ученый Рафаэлло Маджоти.

Не задолго до этого, в 1643 году итальянским физиком Торричелли было доказано существование атмосферного давления, и то, что воздух имеет вес. Им же, был проведен опыт со стеклянной трубкой длиной около одного метра, запаянной с одного конца и полностью заполненной ртутью. Такую трубку, расположив вертикально и закрыв ее внизу пальцем, он опускал вертикально в другой сосуд, наполненный той же ртутью так, чтобы запаянный конец был вверху. Оказалось, что, дав возможности ртути свободно выливаться в сосуд под собственным весом, она не выливается полностью, а образует столб высотой около 76 сантиметров с пустым пространством над нею. Обнаруженное пустое пространство тогда называли «торричеллиевой пустотой», а сегодня мы называем

вакуумом. Трубка же с ртутью до сих пор используется в некоторых конструкциях *барометров*, приборов для измерения величины атмосферного давления.

Опыты Торричелли вызвали большой интерес, а также возбудили множество споров во Франции, в которых принял участие и молодой ученый Блез Паскаль. Ему тогда было всего лишь 24 года, но он уже успел преуспеть в математике, сконструировал и изготовил первый механический арифмометр, который мог оперировать шестизначными числами. Паскаль, экспериментируя с жидкостями, не просто повторял опыты Торричелли, но творчески видоизменял их, что позволило ему обнаружить удивительный для того времени гидростатический эффект. Помог ему в этом простой опыт с бочкой полной воды и вставленной в нее тонкой, но высокой трубкой. Находясь на втором этаже своей лаборатории, Паскаль заполнил трубку полностью и при этом в нее вошел всего лишь один литр воды. Но, к его удивлению бочка не выдержала давления, создаваемого таким небольшим количеством жидкости и лопнула. Исследуя этот эффект он обнаружил, что если сферический сосуд, в стенках которого равномерно просверлены небольшие отверстия, полностью заполнить водой и через тонкую трубку насосом создать в нем избыточное давление, то струйки воды будут вырываться во все стороны с одинаковым напором - не зависимо от их расположения, сверху, снизу или сбоку.

Впоследствии этот гидростатический эффект получил название *закона Паскаля*, который в математическом виде, для замкнутого объема жидкости, записывается как:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

, где F_1 и F_2 - сила давления жидкости приходящаяся на поверхности разных, но

гидравлически связанных сосудов, площади которых равны соответственно S_1 и S_2 . Закон Паскаля широко используется в технике, так на пример, все гидравлические прессы работают именно на этом принципе. Насос, действуя относительно небольшим усилием F_1 своего поршня с малой площадью S_1 , обеспечивает на в гидравлической

системе прессы, давление P равное $P = \frac{F_1}{S_1}$. Согласно закону Паскаля такое же давление

будет и на рабочем поршне гидравлического прессы, где площадь S_2 значительно больше.

Поэтому можно записать равенство $P = \frac{F_2}{S_2}$ из чего следует, что при $S_2 > S_1$ и

$F_2 > F_1$, что означает значительный выигрыш в силе.

Кроме закона о равномерности распределения давления в жидкостях и газах Паскалю принадлежит также формулировка двух гидростатических парадоксов. В первом парадоксе утверждается, что сила давления жидкости на дно сосуда создаваемая ее весом, может отличаться от величины этого веса. И действительно это так. Если сосуд имеет небольшое по площади дно, а его верхняя часть значительно шире, например как у амфоры, то давление на дно приходится совсем небольшое. Однако сосуд, стоящий на каком-нибудь столе, вовсе не будет легче налитой в него жидкости. На стенки, имеющие наклон к поверхности стола, жидкость будет оказывать давление в перпендикулярном направлении к стенкам, но результирующая сила этого давления через сами стенки будет давить стол так, что вес сосуда с жидкостью окажется таким же, как если бы его просто взвесить на весах.

Второй парадокс имеет отношение к выталкивающей силе Архимеда. Традиционно эта сила считается равной весу объема жидкости, вытесненной погруженным в нее телом. Однако Паскаль в своем парадоксе заметил, что тело определенной массы вполне может плавать в сосуде, наполненном жидкостью гораздо меньшей массы. Это можно представить себе на примере большого корабля, заплывшего в такой узкий шлюз, что объем воды между кораблем и стенками шлюза по массе намного меньше массы корабля.

Парадокс объясняется тем, что выталкивающую силу создает не весь объем жидкости, а только тот столб жидкости, высота которого находится над днищем судна. Даже если этой жидкости и очень мало, ее высота обеспечит давление, которое действует

на днище корабля и обеспечивает его плавучесть. Главным здесь является то, что объем жидкости, в котором плавает корабль, является замкнутым и при погружении в него корабля жидкость поднимается. Это становится еще понятнее, если представить себе два стакана – один узкий полностью наполненный водой, а второй всего лишь на один миллиметр шире, но заполнен водой только на сантиметр от дна. Если узкий стакан вставить в широкий стакан, то своим весом узкий стакан заставит воду подниматься в зазоре между стенками обоих стаканов. Если широкий стакан достаточно высокий, то высоко поднявшаяся в нем вода заставит узкий стакан плавать в широком. Таким образом, парадокс Паскаля в определенной степени уточняет формулировку закона Архимеда о плавающих телах, который правильнее можно сформулировать следующим образом: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу этой жидкости, способной полностью заполнить объем погруженного тела.

Неординарный образ мысли молодого Паскаля заинтересовал Декарта, который был намного старше и уже был признанным авторитетом в математике, физике и философии. По инициативе Декарта в 1647 они встречались в Париже, где обсуждали многие актуальные проблемы современности, в том числе и эксперименты по гидростатике. Точка зрения Декарта на существование вакуума принципиально отличалась от мнения Паскаля. Декарт полагал, что существование вакуума невозможно, поскольку весь мир, согласно его философским воззрениям, заполнен мельчайшими и невесомыми частицами, которые находятся постоянно в контакте друг с другом. Кроме того, у них были принципиальные расхождения и в области религии.

Возможно, именно с этими встречами связана, неподтвержденная письменными источниками легенда, согласно которой Декарт экспериментировал с изготовленным собственноручно прибором, представлявшим собой ни что иное, как названный в честь него «картезианский водолаз». Прибор представлял собой высокий цилиндрический сосуд из стекла почти полностью заполненный водой, верхняя часть которого закрывалась натянутой пленки из бычьего пузыря, плотно и герметично примотанной к сосуду прочным шнуром. В качестве «водолаза», плававшего в сосуде с водой Декарт использовал пустую скорлупу куриного яйца. Содержимое яйца предварительно удалялось через небольшое отверстие в остром конце и к этому же отверстию крепилось небольшое грузило заставлявшее скорлупу плавать почти полностью погруженной в воду. Нажимая рукой на пленку бычьего пузыря, Декарт создавал избыточное давление в сосуде, которое через воду действовало на воздух внутри едва державшейся на плаву скорлупы. Под действием избыточного давления объем воздуха в скорлупе уменьшался, и она опускалась на дно.

Сегодня можно встретить интересную модификацию этой игрушки, придуманную немецкими мастерами стеклодувного искусства в 18 веке. Ее особенностью является способность водолаза быстро вращаться вокруг собственной оси. Это будет происходить только в том случае, если при его погружении не постоянно сжимать рукой сосуд, а делать это рывками – резко сжимая и быстро отпуская. Вся хитрость скрыта в конструкции «водолаза» - вода под давлением поступает в его полость не через одно отверстие, расположенное на вертикальной оси, а через два не симметричных отверстия смещенных относительно этой оси. При этом, когда внешне давление снимается, то вода выходящая из «водолаза» через эти два смещенных отверстия, создает вращающий момент. Вариантов такой игрушки можно придумать много и один из них приводится в 5-м разделе «Самодельные игрушки» - №5.9 этой книги.

2.5 «Игрушечная подводная лодка» (тема – Освоение водных глубин)

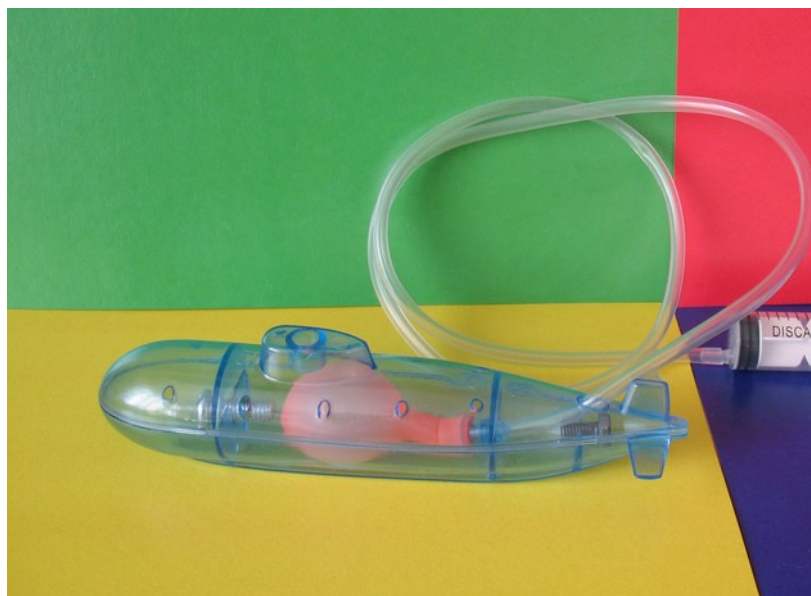


Фото 25

Эта игрушечная подводная лодка не может перемещаться по горизонтали – у нее нет гребного винта, но зато она исправно погружается и всплывает по воле играющего. Такое управление игрушкой обеспечивается тем, что корпус лодки имеет отверстия, сквозь которые вода может свободно поступать внутрь и выходить наружу. Внутри корпуса помещен небольшой воздушный шарик, с входящей в него гибкой пластиковой трубкой, другой конец которой герметично соединен с медицинским шприцем объемом 20 миллилитров. Заполненная водой лодка, слегка пригруженная двумя грузиками и с не надутым шариком, опускается на дно ванны или другого водоема, в котором исследуется ее плавучесть. Под водой лодка может находиться сколь угодно долго, но стоит надавить на поршень шприца и тем самым увеличить объем шарика, и лодка начнет всплывать. Перестав в какой-то момент времени давить на поршень можно заставить лодку неподвижно повиснуть в толще воды. Если вытеснить весь объем воздуха из поршня в шарик, лодка будет плавать на поверхности. Затем можно поршень втянуть в цилиндр шприца и лодка опять утонет. Играть таким образом можно очень долго, пока не надоест. Эта занятная игрушка наглядно демонстрирует основной принцип регулирования плавучести современных подводных лодок.

Подводная среда обитания, безусловно, родной для человека не является, она населена неисчислимым множеством других обитателей. Тем не менее, большинство из нас любит поплавать и понырять, а намек на какие-то перепонки между пальцами наших рук наводит на определенные размышления. Идея использовать что-то искусственно созданное для того, чтобы, нырнув, задержаться под водой больше времени отведенного нам природой, издавна владеет человеком. Античный ученый историк Плиний Старший описывал вариант использования в этих целях *бурдюка* – герметичного мешка из шкуры животного. Ловцы губок и искатели жемчуга привязывали к такому мешку, наполненному воздухом, дополнительный груз и с ним ныряли. Оставаться на глубине до 30 метров и делая несколько вдохов из мешка со сжатым давлением воды, они могли продержаться под водой в несколько раз больше обычного времени – до 10 минут.

Еще одним способом увеличить время пребывания под водой полагали возможным дышать на глубине через трубку, спущенную с поверхности. С точки зрения практической реализации, последний способ сегодня вызывает большое сомнение. С увеличением глубины погружения на каждые 10 метров давление водяного столба растет

примерно на одну атмосферу, и на глубине 30 метров тело человека будет сжиматься давлением около 4-х атмосфер. Под таким давлением, в соответствии с законом Бойля-Мариотта (см. описание к игрушке 2.2 «Любвимер»), объем легких человека сокращается в 4 раза, и возможность вдохнуть воздух с поверхности под давлением в одну атмосферу весьма спорна.

Единственный надежный способ дышать атмосферным воздухом на глубине - это сжать его на поверхности и подать водолазу на глубину по шлангу под давлением. Этот способ впервые был реализован в 1819 году английским инженером Августом Зибе, который при помощи компрессора подавал сжатый воздух в медный шлем со стеклянным иллюминатором, герметично встроенным в прорезиненный костюм водолаза. С помощью подобных аппаратов, отлаженных и усовершенствованных в последующие годы, человек смог не только оставаться продолжительное время под водой, но и производить самые разнообразные работы. Тем не менее, оказалось, что если даже недолго работать под водой или просто находиться там длительное время, то в крови водолаза значительно повышается количество растворенных в ней газов, в основном азота. Это явление крайне опасно тем, что при всплытии азот начинает выделяться из крови, он как бы закипает, образуя пузырьки, которые разрушают стенки кровеносных сосудов. Такие разрушения смертельно опасны и получили специальное название *кессонной болезни*. Чтобы избежать подобных последствий был изобретен ступенчатый способ подъема на поверхность – *декомпрессия*. При этом способе подъема, водолаз через каждые 2-3 метра задерживается на этой глубине в течение нескольких минут, пока избыточный азот не будет израсходован легким, и только затем продолжает подъем. Водолазный костюм со шлемом и нагнетаемым воздухом, сегодня считается *классическим водолазным снаряжением*, и хотя был изобретен он еще в 19 веке, подобным снаряжением пользуются до наших дней, конечно уже намного более совершенным – из современных материалов, с предохранительными клапанами и встроенным проводным телефоном. Главным недостатком здесь остается необходимость шланга для воздуха, который делает водолаза как бы привязанным к судну, на котором расположен компрессор. Этому недостатка лишено водолазное снаряжение с запасом сжатого воздуха, находящегося в относительно небольших баллонах, закрепленных на теле водолаза. Существует два типа такого снаряжения.

Первый тип, так называемые *ребризеры* – аппараты с замкнутым объемом дыхательной смеси и регенерацией выдыхаемого воздуха. При этом способе углекислый газ удаляется из выдыхаемого воздуха специальным химическим составом, а кислород, будучи выделенным, в ходе химической реакции с другим веществом, наоборот добавляется в дыхательную смесь. Впервые аппарат, работающий на этом принципе, был разработан английским инженером Генри Флеусом еще в 1876 году. Сегодня подобные аппараты используются также пожарными при тушении сложных пожаров и в других экстренных ситуациях при отсутствии возможности дышать нормальным воздухом. Существуют ребризеры работающие на чистом кислороде, что позволяет избежать необходимости декомпрессии при всплытии, но они становятся опасными при погружении на глубину более 6 метров. Опасность кроется в том, что при давлении кислорода в легких человека выше 1,6 атмосфер, он вызывает отравление. Этот недостаток может быть устранен использованием специальных дыхательных газовых смесей. Главными достоинствами ребризеров являются возможность длительного пребывания под водой при одной его заправке до 5-7 часов, и отсутствие пузырей выдыхаемого воздуха, что наряду с компактностью делает их особо привлекательными для военных. Недостатком этих аппаратов является их сложность, необходимость очень внимательного и аккуратного обслуживания, а также высокая стоимость.

Честь создания второго типа подводного снаряжения для свободного плавания под водой, снаряжения с открытой системой дыхания – *акваланга*, принадлежит французскому исследователю мирового океана Жаку Иву Кусто. Вместе с Эмилем

Ганьяном они в 1943 году изобрели особый регулятор давления, который был способен из баллонов со сжатым под высоким давлением воздухом, автоматически и надежно отбирать и снижать его давление до давления окружающей среды, а затем подавать этот воздух для дыхания ныряльщику. Акваланги сегодня - это самые распространенные аппараты для свободного плавания под водой. Рекордной глубиной погружения с аквалангом являются 330 метра, при этом длительность погружения составила всего 10 минут, а декомпрессия во время всплытия продолжалась 9 часов. Максимальная длительность погружения со сменными баллонами, достигнутая в качестве рекорда, равняется почти 6-ти суткам.

Еще одним направлением освоения водных глубин является погружения в аппаратах, где человек полностью изолируется от окружающей его воды. Такие аппараты берут начало от водолазного колокола, придуманного еще в античные времена и представляющего собой, по сути, настолько большой водолазный шлем, что в нем водолаз помещается полностью. Подобные устройства применяются и в наши дни, они используются для того, чтобы доставить водолаза в современном снаряжении на большую глубину и сэкономить ему запас воздуха. Используются определенный аналог большого водолазного колокола иногда и при ведении строительных работ под водой для возведения опор мостов или фундаментов гидротехнических сооружений. При этом вода из замкнутого пространства на дне водоема вытесняется с помощью нагнетания в него воздуха под большим давлением. Это пространство называется *кессоном*, а подобные работы - *кессонными*. Недостаток любого водолазного колокола очевиден, это необходимость декомпрессии.

Подводная лодка в современном ее понимании была сразу предназначена для использования в военных целях, поэтому большинство построенных раньше и плавающих сегодня подводных лодок являются боевыми. Конечно, существуют и подводные суда созданные в научно исследовательских целях, а также служащие просто для развлечения, однако их число несоизмеримо меньше.

Впрочем, все же первая подводная лодка, построенная в Англии и испытанная на Темзе в 1620 году ее, была предназначена для развлечения и устроена по-другому. Она, как и современные лодки погружалась, при заполнении специальной емкости забортной водой, но всплывала только тогда, когда сбрасывала на дно *твердый балласт* - заранее приготовленный дополнительный твердый груз. Конечно, подобный способ погружений был крайне неэкономичным.

Все боевые подводные лодки для регулировки плавучести используют тот же принцип, что и игрушечная подводная лодка. В их конструкции всегда имеется так называемая *балластная цистерна* – пустотелая емкость, заполняемая забортной водой с помощью насосов при необходимости погружения. Если нужно всплыть, вода из балластной цистерны выдавливаются опять за борт с помощью сжатого воздуха, заранее закачанного в специальные баллоны. Таким способом лодка может изменять глубину своего погружения, оставаясь неподвижной – это гидростатический способ регулировки глубины погружения.

Однако лодка может также изменять свое положение по отношению к водной поверхности с помощью *рулей глубины*, представляющих собой некое подобие крыльев самолета, только гораздо меньшего размера и способных поворачиваться вокруг своей продольной оси. При этом рули глубины работают только тогда, когда лодка движется под водой и ее обтекает вода – это гидродинамический способ регулировки глубины погружения.

У всех подводных лодок существует предел глубины погружения, который определяется ограниченным объемом сжатого воздуха на борту. Это объясняется тем, чем больше забортное давление, тем больший объем сжатого газа необходим для вытеснения балластной воды при постоянном его давлении. Но величина давления сжатого воздуха сегодня не может быть превышать 200 – 300 атмосфер, иначе не выдержат трубопроводы,

краны и вентили. Максимальная глубина погружения современных подводных лодок редко превышает 400 - 550 метров.

Для изучения жизни на глубинах не доступных подводным лодкам, в начале прошлого века были созданы *батисферы*. По своей конструкции они представляет собой стальной полый шар с прочными толстыми стенками и небольшими иллюминаторами из высокопрочного стекла. Сферическая форма выбрана для того, чтобы выдерживать гигантские внешние нагрузки при погружении батисферы на прочном стальном тросе в неисследованные глубины мирового океана. Для дыхания акванавтов в батисфере предусмотрен запас сжатого воздуха в баллонах. Максимальной глубины погружения в батисфере равной 1375 метрам, удалось в 1934 году достичь американскому акванавту Отису Бартону. Однако глубже батисфера опускаться не может по той причине, что стальной трос, на котором она опускается, становится слишком тяжелым и он уже не сможет выдержать нагрузки, создаваемой собственным весом и весом батисферы.

Мировой рекорд глубины погружения был установлен в 1960 году, с помощью другого глубоководного аппарата. Французский ученый Жак Пикар и лейтенант военно-морских сил США Дон Уолш в сконструированном ими *батискафе* «Триест» достигли глубины 10919 метров на дне так называемой «Бездны Челленджера», самой глубокой точки мирового океана, находящейся в Марианском желобе на западе Тихого океана.

Батискаф «Триест» был внешне похож на небольшую подводную лодку, он имел продолговатый поплавок длиной около 15 метров, к которому крепилась прочная обитаемая сферическая гондола. Принципиальное отличие батискафа от подводных лодок и его главная особенность состоит в способе обеспечения плавучести. Во всех без исключения подводных лодках тяжелый стальной корпус удерживается на плаву заключенным внутри него воздухом. Однако на сверхбольших глубинах вес воды, вытесняемой воздухом, заключенным в корпусе подлодки, а соответственно и равная этому весу архимедова сила плавучести, станут меньше веса корпуса подлодки - она начнет погружаться, уже не имея возможности всплыть. В батискафе же нет воздушной полости, его полый корпус заполнен бензином, который, как известно несжимаем, но при этом легче воды, именно он и обеспечивает плавучесть. Через эластичную перегородку в корпусе бензин при погружении воспринимает сжимающие нагрузки от давления воды, а корпус батискафа оказывался практически не нагруженным. Как и у всех подводных лодок, погружение батискафа начиналось после забора небольшого количества балластной воды, а для всплытия в «Триест» был загружен запас стальной и чугунной дроби, которая во время погружения удерживалась электромагнитом, сбрасывался для всплытия.

Одним из перспективных направлений в развитии глубоководных исследований сегодня считается разработка и строительство необитаемых и управляемых дистанционно подводных аппаратов.

2.6 «Заводной катер» (тема – Водные движители)



Фото 26

Заводной пружинный моторчик проводит во вращение гребной винт, благодаря чему игрушечный катер довольно быстро плывет по воде, словно настоящий. Использовать винт в качестве движителя на водном транспорте впервые предложил в 1681 году английский естествоиспытатель Роберт Гук, а теория работы гребного винта была создана Даниилом Бурнули почти век спустя в 1752. Однако широкое применение гребной винт нашел, лишь придя на смену гребным колесам, которые были известны с античных времен и массово использовались как водный движитель для первых и последующих пароходов вплоть до второй половины XIX века.

Здесь необходимо сказать, что двигатель и движитель это совсем разные вещи. *Движитель* – это техническое устройство, которое, будучи смонтировано на транспортном средстве, может приводить его в движение за счет взаимодействия с окружающей средой. *Двигатель* же источник механической энергии для работы движителя. Самым распространенным движителем является обычное колесо, а двигатель вращает это колесо которое, взаимодействуя с полотном дороги, приводит в движение транспортное средство. Движителями можно считать и весла в гребной лодке, где роль двигателя выполняет человек, воздушные винты самолетов и судовые винты кораблей тоже представляют собой разновидности движителей. У игрушечного катера двигателем является пружинный моторчик, а движитель это водяной гребной винт.

Но первым водным движителем, скорее всего, был длинный деревянный шест, с помощью которого человеку удавалось осваивать водные пространства на обыкновенном бревне. С изобретением плотов и лодок появились новые движители - весла, и стало возможным плавание вдали от берегов. Затем в освоении водных пространств намного эффективнее стал помогать парус, но ветер дул не всегда туда куда нужно, да и частенько его не бывало вовсе, или наоборот, он был катастрофически силен. Конечно, помогало отчасти совмещение паруса с веслами, но уже в первом веке нашей эры римский ученый Витрувий описывает попытку заменить весла полупогруженными в воду колесами с лопастями. Достоверно известно об использовании многочисленных военных флотов, состоящих из кораблей с гребными колесами в древнем Китае начиная 1400-х годов. Интересно, что уже тогда колеса с лопастями размещались как по бортам судна, так и на

его корме. В качестве источника энергии для вращения гребных колес служили мускулы человека или домашних животных – быков и лошадей.

Появление надежных паровых двигателей дало возможность в 1807 году ирландскому механику и инженеру Роберту Фултону построить первый колесный пароход «Клермонт» длиной 43 метра, совершавший коммерческие рейсы и затем начинается массовое строительство подобных судов. Однако, несмотря на достаточно широкое распространение колесных пароходов на реках и морях, мощные океанские штормовые волны часто ломали большие лопасти, что существенно сдерживало развитие такого транспорта, и вскоре на смену лопастным колесам пришел гребной винт. Впрочем, на речном транспорте колесные движители оказались востребованными и в наше время. Сегодня на реках и озерах эксплуатируется множество отреставрированных судов с гребными колесами для развлечения и в туристической сфере. Более того, строятся и новые речные корабли, оснащенные современным и гребными колесами, у которых есть ряд преимуществ перед судами с гребным винтом. Во-первых, гребные колеса, размещенные по бортам, позволяют развернуться судну практически на месте, а это бывает порой крайне полезным свойством для буксировщиков и внутрипортовых транспортов. Во-вторых, на мелководье и замусоренных акваториях гребные колеса работают гораздо лучше винта.

Впрочем, впервые, гребной винт нашел себе применение не на корабле, а на подводной лодке. В 1775 году школьный учитель Дэвид Бушнелл построил в Северно-Американских Соединенных Штатах боевую подводную лодку «Черепаха» рассчитанную на плавание под водой одного человека в течение получаса и оснащенную носовым гребным винтом. Лодка приняла реальное участие в войне за независимость Соединенных Штатов от Британии, однако нанести сколь либо значительного ущерба противнику не смогла и в 1776 году была потоплена в бою.

Первый весьма удачный пароход с гребным винтом «Архимед», способный преодолевать штормовые волны, был построен английским инженером и изобретателем Френсисом Смитом значительно позднее, лишь в 1838. Однако перед этим он, работая простым фермером, подал в 1837 году заявку на гребной винт, который имел несколько витков. Для проверки идеи на практике изобретатель построил небольшую лодку, но во время испытаний произошла поломка винта, в результате которой остался лишь один виток. Всех тогда удивило, что при этой поломке скорость лодки увеличилась почти в два раза и составила около 13 км/час. Заявка на патент была исправлена, а пароход приобрел металлический гребной винт также с несколькими лопастями, но вращавшимися уже в одной плоскости. К концу 4-х годов этого столетия пароходы с гребными винтами практически повсеместно вытеснили колесные. Гребные винты смогли «победить» гребные колеса благодаря ряду преимуществ:

- для их вращения необходимо прикладывать меньшее усилие и поэтому можно использовать надежные высокооборотные двигатели большой мощности;
- у гребного винта в воду погружены все лопасти, и следовательно КПД выше, он может достигать 80% по сравнению с максимальными 55% у гребных колес;
- вес и габариты гребного винта на порядок меньше.
- конструктивно винт намного проще, чем гребное колесо
- эксплуатация и техническое обслуживание гребных винтов намного легче, чем гребных колес.

Современные гребные винты являются самыми распространенными судовыми движителями. Их габариты могут колебаться в пределах от нескольких сантиметров у подвесных лодочных моторов, до размера трехэтажных зданий – такими гигантскими винтами оснащаются океанские лайнеры. Конструктивно гребные винты разделяются по способу крепления лопастей. Бывают винты с неподвижно закрепленными на валу лопастями, число которых обычно колеблется от двух до четырех, но бывают и многолопастные винты, где их количество может достигать до 12-ти. Такие винты называются

винтами постоянного шага. Принципиально иными являются так называемые «винты регулируемого шага». Их особенностью является то, что во время движения судна, существует возможность управляемого и синхронного изменения углов поворота лопастей относительно осей, перпендикулярных оси гребного вала. Такая особенность позволяет судам с винтами регулируемого шага создавать большую силу тяги при малой скорости движения, повышает маневренность и позволяет уменьшить размеры винта при сохранении его эффективности. Кроме того, с этими винтами судно может идти задним ходом без изменения направления вращения главного вала. Несмотря на очевидную сложность изготовления и эксплуатации по сравнению с обычными винтами, почти четверть всех кораблей в мире оснащены винтами с поворачивающимися лопастями, и их число продолжает расти.

Основной проблемой всех гребных винтов является малоизвестное широкому кругу физическое явление «кавитации». В самом начале использования гребных винтов, было замечено, что после достижения определенной скорости их вращения судно не может увеличить скорость своего движения. Если увеличивать скорость вращения винтов, то они начинают сильно вибрировать и мощно сотрясаться. Исследования показали, что причиной этому как раз и является кавитация. К этому времени уже было известно, что точка кипения воды зависит как от температуры, так и от давления. Оказалось, что при быстром вращении, на поверхности лопастей вода создает такое давление, что она начинает испаряться при низких температурах – возникает «холодное кипение». Возникающие при этом паро-воздушные пузырьки и их последующее схлопывание при отрыве от поверхности металла создают разрывы в водной среде, возникает неравномерность ее давления на лопасти. Это явление кроме динамического воздействия приводит даже к разрушению металлической поверхности лопастей, они становятся, словно изъеденными быстрой и сильной коррозией. Изначально с кавитацией боролись, увеличивая площадь лопастей и максимально заглубляя винт по отношению к ватерлинии. Но, начиная с 1940 годов, стали появляться винты с особой геометрией сечения лопасти винта с острой набегающей кромкой и тупой убегающей, так называемых суперкавитирующих винтов. У таких винтов удается, избегая разрушающих последствий кавитации, повысить скорость вращения винтов в 1,5- 2 раза по сравнению с обычными. Совершенствование геометрии гребных винтов продолжается и сегодня, а в дополнение к этому способу борьбы с кавитацией не так давно добавился еще вариант подачи воздушной струи к вращающемуся винту, такая струя отчасти не дает развиваться процессу кавитации, в особенности у глиссирующих судов.

Еще одним распространенным судовым движителем является водометный движитель, который создает направленный импульс за счет отбрасываемой мощным насосом воды.

Кроме описанных выше водных движителей существуют еще и достаточно экзотичные устройства.

- Плавниковые движители, напоминают плавники больших акул и китов, вступают из днища судна почти горизонтально, под небольшим углом и могут приподнимать или опускать корпус над водой во время движения. Во время качки такие движители служат для придания судну большей устойчивости.
- Крыльчатые движители, очень похожи на гребные колеса, но размещенные под днищем судна и вращающиеся в горизонтальной плоскости. Лопасти такой крыльчатки во время ее вращения поворачиваются также и вокруг собственных осей параллельных оси вращения крыльчатки и как бы загребают воду, создавая движущий импульс. Их тяга не очень велика, но позволят кораблю поворачиваться на месте и поэтому Крыльчатые движители используются главным образом в портах, на маневровых буксирах и подобных по назначению судах.
- Гидрореактивные, выталкивают воду струей сжатого воздуха или продуктов сгорания специального топлива

- Волновые, используют принцип движения по воде подобный плаванию водяных змей.
- Магнитогидродинамические движители создают направленный поток морской воды, используя ее в качестве подвижного электролита в электромагнитной катушке специальной геометрии.

Впрочем, в последнее время стали появляться сообщения о появлении судов оснащенных гребными колесами с усовершенствованной конструкцией подвижного крепления и особой формой лопастей. Ожидается, что их применение обеспечит особую маневренность и надежность при плавании на мелководье и в ледовой обстановке.

2.7 «Игрушечный парусник» (тема - Парус, хождение галсами)



Фото 27

Игрушечный парусник поможет рассказать о том, как человек научился с помощью ветра преодолевать расстояния между странами и континентами. Первым техническим средством, давшим человеку возможность кардинально менять образ своей жизни за счет перемещения на значительные расстояния, скорее всего, был именно водный транспорт. Сначала это были отдельные или связанные в плоты бревна, затем лодки долбленки, а с развитием инструментов и технологий появились настоящие корабли. Прообразом парусов была растянутая ветром звериная шкура, толкающая плот или лодку вперед, а около пяти с половиной тысяч лет назад в Египте появился первый настоящий парус.

Изначально парус был устроен очень просто, он представлял собой прямоугольник, изготовленный набором папирусных стеблей, а позднее прямоугольное полотнище из плотной ткани. Под такими парусами, их называют прямыми, старинные корабли с малой осадкой могли плыть только в том направлении, куда дул ветер, такой курс называется *фордевинд*. Любопытно, что многомачтовые парусники с прямыми парусами могли плыть быстрее при ветре, дующем под некоторым углом к оси судна, чем строго в корму. Это объясняется тем, что при таком небольшом повороте парусов относительно оси судна и если ветер дует в них немного сбоку, паруса на одной мачте не загораживают паруса на другой и все они включаются в работу. Правда, в этом случае, плоскодонные корабли немного сносились ветром с курса – они *дрейфовали*.

В древней Сирии, а затем в Финикии были изобретены суда, оснащенные *килем* – горизонтальной балкой на днище, которая увеличивала площадь части судна погруженной в воду. При ветре, дующем под некоторым углом к корпусу судна и при определенном повороте паруса, площадь киля оказывает большое сопротивление напору воды, чем сопротивление поперечного сечения безкилевого корабля и скорость его дрейфа становится существенно меньше. Поэтому даже корабли с прямыми парусами, но оснащенные килем, могут плыть под углом к направлению, откуда дует ветер, моряки называют такое плавание – «ходить бейдевиндом». Такие корабли с прямоугольными парусами могли плыть в направлении против ветра, но не более чем под углом 45

градусов к ветру. При необходимости сделать угол направления движения корабля к ветру острым, *рея* - горизонтальная балка к которым крепится парус, начинает упираться в растяжку, удерживающую мачту и на больший угол парус уже не повернуть.

Эту проблему решило изобретение арабами, а независимо от них индусами в VIII–IX веках, косых парусов с формой близкой к треугольнику. Такие паруса легче поднимать и спускать, к тому же снастей для управления требуется гораздо меньше. И главное - оснастка косого паруса позволяет установить его под любым углом к осевой линии судна. При установке косого паруса под углом в пределах от 5-ти до 10-ти градусов к ветру он начинает работать как аэродинамическое крыло и корабль способен плыть навстречу ветру. Лучшие парусные корабли с косыми парусами развивают максимальную скорость при угловом курсе в пределах 30-35 градусов к направлению ветра.

Однако когда ветер дует постоянно в одну сторону не всегда нужно плыть в одном направлении, даже если есть возможность плыть ему на встречу. Чтобы выдерживать общее необходимое направление применяются так называемое «*хождение галсами*» - попеременное изменение расположения парусов таким образом, чтобы ветер дул сначала в один борт, а затем, после преодоления определенного расстояния в другой. Таким образом, корабль плывет как бы змейкой вперед и в среднем направление движения корабля будет таким, как нужно капитану. Расстояние, которое проходит парусное судно от одного поворота до другого и время поворота угадать правильно совсем не просто, и именно в этом состоит мастерство капитанов парусных судов и рулевого. Впрочем, на современных парусных яхтах эту задачу часто выполняют автоматизированные системы расчета курса.

2.8 «Планер с резиновым запуском» (тема – Аэродинамика)



Фото 28

Планеры - это летательные аппараты тяжелее воздуха, не имеющие двигательных установок. В письменных источниках античности содержится описание попытки сконструировать и построить летающую модель голубя, которую предпринял примерно в 400-м году до нашей эры древнегреческий ученый Архит Тарентский, современник и друг Платона. Как модель запускалась в полет и её детальная конструкция точно не известно, в одних источниках говорится, что Архит использовал струю сжатого воздуха, в других упоминаются машущие крылья, но все сходится в одном - его легкий голубь, сделанный из деревянных деталей, мог пролететь не менее 20-ти метров. Интересна еще одна деревянная модель птицы, возраст которой примерно такой же, но обнаруженная в 1898 году при раскопках в Северном Египте. Эта модель с размахом крыльев около 15 сантиметров имеет хвост в форме вертикального киля, очень похожа на современные самолеты и вполне способна к непродолжительному планированию.

В старинных Русских хрониках XVI века можно найти упоминание о крестьянине Никите Трофимове, построившем деревянные крылья. Он, прыгнув с Распятской колокольни в Москве, с помощью подобных крыльев сумел пролететь достаточно большое расстояние, перелететь ограду собора и благополучно приземлиться.

Однако первый успешный опыт создания планера способного надежно обеспечить полет человека, был осуществлен в 1891 году немецким инженером Отто Лилиенталем, совершившим впоследствии более 2000 удачных полетов. Позднее он погиб при испытании нового аппарата, *биплана* - планера с двумя крыльями, размещенными одно над другим. Удачные планеры строил в 1912-1913 году Российский авиатор Константин Арцеулов. Бурный всплеск в конструировании и строительстве планеров произошел в после первой мировой войны опять в Германии, где по Версальскому мирному договору строительство самолетов с моторами было строго ограничено. Сегодня планеризм это весьма популярный вид спорта и активного отдыха, один раз в два года проводятся мировые чемпионаты по планерному спорту. Запуск планеров в полет может быть осуществлен как с земли, так и при помощи самолета – буксировщика. С земли можно запускать планеры тремя способами:

- при помощи мощной и быстрой (обычно дизельной) лебедки с тросом,
- с помощью буксировки автомобилем,

- запуск резиновыми шнурами.

В полете на крылья планера испытывают действие аэродинамической силы, создаваемой потоком набегающего воздуха и имеющей две составляющие - лобовое сопротивление и подъемную силу. Подъемная сила возникает за счет особой формы профиля крыла, представляющего собой сильно вытянутую назад каплю с небольшим прогибом вверх. Такая форма заставляет набегающий воздух обтекать верхнюю и нижнюю поверхность крыла по-разному. Над крылом, за одну и ту же единицу времени воздух должен преодолеть большее расстояние, чем под крылом, а потому скорость набегающего воздуха над крылом больше чем под крылом. Это обстоятельство обуславливает то, что во время полета число молекул воздуха над крылом постоянно меньше чем под крылом, соответственно и давление воздуха над крылом меньше чем под ним. Такую зависимость скорости *ламинарного* (непрерывного и без завихрений) потока газа или жидкости от давления нашел в 1838 году швейцарский физик Даниил Бернулли. Впоследствии обратную зависимость величины давления от скорости течения газа или жидкости в стационарном потоке назвали законом Бернулли. Математически закон Бернулли для жидкости описывается уравнением: $\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = const$, где ρ - плотность жидкости, v – скорость потока, h - высота жидкости, g – ускорение свободного падения, p – давление жидкости. Первое слагаемое уравнения представляет собой кинетическую энергию, заключенную в частице потока жидкости – это так называемый *скоростной напор*. Второе слагаемое - потенциальная энергия этой же частицы, создаваемое весом столба жидкости или газа высотой h . Третье слагаемое – это статистическое давление, оказываемое молекулами жидкости на стенки, ограничивающие поток. Для горизонтального потока воздуха его потенциальная энергия считается равной нулю, и уравнение Бернулли выглядит так: $\frac{\rho v^2}{2} + p = const$.

На величину подъемной силы, кроме формы профиля крыла, больше влияние оказывает так называемый *угол атаки* – угол, между набегающим потоком воздуха и продольной осью профиля крыла. Оптимальные профили и углы атаки крыла можно рассчитать теоретически, но такой расчет достаточно сложен и базируется на аэродинамических коэффициентах, полученных экспериментально. Потому любой проект планера или самолета, прежде чем быть реализованным в натуральную величину, обязательно проходит стадию испытаний масштабной модели путем ее продувки в специальной аэродинамической трубе.

Планеры бывают не только похожими на самолеты с жесткими крыльями. В 1948 году Фрэнсис Роголо оформил заявку на изобретение крыла из полотна, натянутого на жесткий каркас. Каркас представлял собой три тонких алюминиевых трубы, а полотно имело треугольную форму. В наше время такой планер с гибким крылом известен как *дельтаплан*. Преимуществом этого легкого крыла является его малый вес и простота изготовления. В последнее время в качестве металлического каркаса у гибкого крыла используют надувные баллоны, как, например у набирающих популярность спортивных воздушных змеев – *кайтов*, увлекающих за собой любителей острых ощущений при скоростном перемещении по воде, снегу или льду.

2.9 «Игрушечный самолет с толкающим винтом». (Тема – Летательные аппараты)



Фото 29

Игрушечный самолет, показанный на фото удивительный пример попытки совместить несовместимое. Внешний облик игрушки довольно точно копирует современный пассажирский лайнер с четырьмя газотурбинными двигателями под крыльями и одним толкающим винтом в хвостовой части. Сочетание двух таких принципиально различных видов движителей конечно нелепо с точки зрения практической реализации в реальном самолете. Однако такая игрушка позволит сделать интересным рассказ об авиационных двигателях, позволивших человеку перемещаться в небе быстро, надежно и на огромные расстояния.

Двигатель – это техническое устройство преобразующие тот или иной вид энергии в движение рабочего органа. В современных двигателях обычно работает химическая или электрическая энергия. Химическая энергия используется в двигателях внутреннего, внешнего сгорания и реактивных, а электрическая в электромоторах. Движение рабочего органа это чаще всего возвратно-поступательное движение поршней в двигателях внутреннего сгорания или вращение вала в электромоторах. Однако существуют и другие разновидности двигателей. На различных производствах весьма распространены пневматические двигатели, работающие за счет энергии сжатого газа и гидравлические использующие энергию потока воды. Пьезоэлектрические работают за счет расширения особых материалов при подаче на них электрического тока.

В авиации к настоящему времени используются два вида двигателей - внутреннего сгорания и работающие на реактивном принципе. Первый самолет, способный совершать управляемый полет, имел двигатель внутреннего сгорания, а сконструировали и построили его в 1903 году братья Уилбер и Орвил Райт. Их самолет, названный «Флаер 1», смог на высоте нескольких метров пролететь 40 метров за 12 секунд. До них, в 1884 году русский морской офицер Александр Можайский спроектировал и построил летательный аппарат с паровым двигателем и тремя тянущими воздушными винтами. Но при испытаниях мощность парового двигателя оказалась недостаточной, и самолет Можайского взлететь не смог. В самолете братьев Райт был установлен уже бензиновый двигатель внутреннего сгорания. Еще одним принципиальным отличием было использование в качестве движителя двух толкающих воздушных винтов. В дальнейшем

братьями Райт были проведены значительные доработки и усовершенствования их самолета, связанные с улучшением управляемости полетом, а также увеличением длительности и высоты полета. В последующие 1905 - 1915 годы было создано множество аналогичных легких самолетов различных аэродинамических схем. *Монопланы* - самолеты с двумя крыльями, расположенными в одной плоскости по обе стороны от *фюзеляжа* (корпуса) самолета. *Бипланы* - самолеты с двумя, расположенными несущими плоскостями по обе стороны от фюзеляжа. Самолеты коробчатых схем с несколькими рядами несущих плоскостей, напоминающих старинные воздушные китайские змеи. Во всех схемах применялись толкающие как толкающие, так и тянущие воздушные винты, причем толкающим вплоть до 1916 года, отдавалось предпочтение.

Это объяснялось в основном тем, что на первом этапе развития авиации кроме развлечения она находила себе применение главным образом на войне. Боевое применение самолетов заключалось в воздушном наблюдении за боевой обстановкой на земле, бомбометании и воздушных сражениях. Сражались пилоты первых самолетов с помощью стрелкового оружия – пистолетов и пулеметов. Стрелять сквозь вращающийся винт тогда не умели, именно поэтому винт и располагали обычно за пилотом. К тому же такой винт не создает вихревого давления на несущие поверхности крыльев, что значительно облегчает управление. Но в 1914 году был изобретен *синхронизатор стрельбы* – механизм, совмещавший удар бойка пулемета с промежутком между лопастями вращающегося воздушного винта, благодаря этому стало возможным стрелять вперед, через вращающийся тянущий винт. Не смотря на то, что тянущий винт создает завихрения воздушного потока, которые отрицательно действуют на переднюю кромку крыльев, точка создаваемого винтом тянущего усилия расположена впереди центра масс самолета и это значительно упрощает управление самолетом в полете. Преимущества тянущего винта, как принято считать, превышают его недостатки не только при использовании на военных самолетах, но и в гражданской авиации.

Развитие авиации с поршневыми двигателями внутреннего сгорания и тянущими воздушными винтами достигло своей высшей точки к концу Второй мировой войны. Дело в том, что если воздушный винт вращается очень быстро и его лопасти движутся с окружной скоростью близкой к скорости звука в воздухе, а это 1224 км/час, то резко возрастает воздушное сопротивление, при котором частицы воздуха уже не могут отбрасываться назад со скоростями, позволяющими самолету развить скорость свыше 650 – 700 км/час. Задача преодоления этого ограничения скорости была решена установкой на самолеты воздушно - реактивных двигателей.

Принцип работы воздушно – реактивного двигателя заключается в отбрасывании набегающего потока окружающего воздуха, ускоряемого в ходе химической реакции горения топлива в замкнутом объеме камеры сгорания. Хотя разновидностей таких двигателей достаточно много, основных типов всего два, прямоточные воздушно-реактивные двигатели и турбореактивные. В прямоточных двигателях, как это следует из названия, воздух повышает давление непосредственно в камере сгорания и отбрасывается назад с большой скоростью через *сопло* особой формы играющее роль движителя. Конструктивно это самые простые двигатели из семейства реактивных, но в авиации они не нашли применения - слишком велик расход топлива, поэтому их сфера применения это боевые одноразовые ракеты и беспилотные летающие мишени. В 2018 появилось сообщение, что в России создана боевая ракета с ядерной энергетической установкой обеспечивающей работу прямоточного воздушно – реактивного двигателя.

В авиации сегодня нашли самое широкое распространение турбореактивные двигатели. Принцип работы турбореактивного двигателя заключается в том, что окружающий воздух, прежде чем попасть в камеру сгорания двигателя, вращает турбину компрессора, сжимающего этот же воздух. В камере сгорания уже сжатый воздух обогащается распыленным топливом, и струя продуктов горения под большим давлением выбрасывается через реактивное сопло. Нашел себе применение в турбореактивных

двигателях и старый добрый винт. Он используется в так называемых турбовинтовых реактивных двигателях. В этих двигателях струя продуктов горения, не просто выбрасывается через сопло, но еще и вращает воздушный винт, который создает основное движущие усилие, реактивная тяга здесь является дополнительной. Турбовинтовые двигатели гораздо экономичнее турбореактивных, но могут обеспечить полет самолетов с существенно меньшей скоростью. Самый быстрый авиалайнер Ту-95/142 был поострен СССР в 1955 году, его 4-е турбовинтовых двигательных установки позволили развить скорость 925 км/час. Хотя самолеты турбовинтовыми двигателями считаются устаревшими, но их современные модификации все чаще начинают, используются для региональных перевозок на расстояниях до 800 км. И всё же основной массив авиационных перевозок в настоящее время приходится на долю самолетов с турбореактивными двигателями, точнее последними их модификациями – турбовентиляторными. Это так называемые двухконтурные реактивные двигатели, в которых воздух проходит как бы по двум трубам большого диаметра, одна из которых вставлена в другую. Газовая турбина внутренней трубы вращает не только компрессор, но и вентилятор, который гонит воздух по внешней трубе, что позволяет значительно повысить эффективность.

Одним из наиболее перспективных направлений дальнейшего развития авиации, возможно, является создание самолетов с электрическими двигателями, а также строительство новых сверхзвуковых авиалайнеров аналогичных летавшим в прошлом веке советским «ТУ-144» и европейским «Конкордам», но с улучшенными летными характеристиками.

2.10 «Орнитоптер» (тема - *Машущий полет*)



Фото 30

Эта игрушка на радиоуправлении и с литий - ионным аккумулятором появилась относительно недавно. Маленький, но достаточно мощный электромоторчик на неодимовых магнитах приводит в колебательное движение легкие крылья и изящная, почти невесомая птичка из пенопласта отправляется в полет. Высота полета определяется частотой взмахов крыльев, а направление - поворотом вертикального руля с помощью крохотной электромагнитной катушки и магнитного сердечника. Игрушка может летать достаточно высоко и далеко, уверенно принимая радиосигналы от пульта на расстоянии до 50 метров.

Полет крылатых созданий мы можем увидеть в любой день - птицы или летающие насекомые окружают нас практически везде и всегда. Наблюдая за их полетом, человек на протяжении тысячелетий мечтал сделать и себе подобные крылья, чтобы с их помощью подняться в небо. В античной Греции родилась легенда о инженере Дедале и о его сыне Икаре, в которой повествуется о неудачной попытке улететь с острова Крит на деревянной птице с крыльями из воска и птичьих перьев. Среди чертежей и эскизов Леонардо Да Винчи относящихся 1485-1487 годам можно найти схему аппарата с машущими крыльями, который используя мускульную силу человека, должен был позволить ему летать подобно птицам.

В XVII веке Роберт Гук пришел к выводу о том, что подаренных природой человеку мускульной силы и энергетики, недостаточно для успешного машущего полета. В последствии это предположение было подтверждено многими учеными, но попытки создать летательный аппарат с машущими крыльями – *орнитоптер* получили дальнейшее развитие, когда появилась идея использовать дополнительные источники энергии. Проводились эксперименты по использованию энергии пара и других тепловых двигателей, пробовали приспособить крылья к аэростатам и так далее. Однако более или менее успешных попыток научиться летать так и не удалось осуществить вплоть до начала двадцатого века, когда братья Райт в 1903 году подняли в воздух самолет с неподвижными крыльями. Как известно, именно в этом направлении и последовало бурное развитие авиации в дальнейшем. Тем не менее, идея машущего полета не оказалась забытой.

В наше время орнитоптеры начали уверенно осваивать воздушное пространство благодаря новым возможностям современных компактных, энергоемких двигателей и высокопрочных композиционных материалов. Пока это происходит лишь в беспилотном

варианте. Однако превосходство природных летунов птиц и насекомых по энергетической эффективности, их маневренность и разнообразие стилей полета, пока абсолютно бесспорно по сравнению со всем разнообразием летательных аппаратов, созданных человеком. Вероятно поэтому дальнейшее совершенствование летательных аппаратов на базе машущего полета признается сегодня весьма перспективным направлением развития авиации.

Главной проблемой в создании новых конструкций орнитоптеров с повышенными эксплуатационными свойствами является отсутствие надежной теории машущего полета. Теоретическая база аэродинамики для неподвижного крыла была разработана Николаем Жуковским еще в 1898 году, и остается актуальной по сей день. А неизбежная при машущем полете *турбулентность* (хаотичные завихрения газа или жидкости) до настоящего времени не позволяет найти единого подхода к численному определению параметров воздушной среды вокруг крыльев.

Так, например, численные методы расчета утверждают, что майский жук, при его массе и аэродинамическом несовершенстве, летать не может. А он и множество других, еще более неуклюжих насекомых прекрасно летают, способны зависать в воздухе и вызывают чувство зависти у авиаконструкторов. Тем не менее, совершенствование методов статистической математики и численных расчетов на ЭВМ все-таки оставляют нам надежду увидеть в недалеком будущем человека опирающегося в небе на крылья, подобно тому, как это делают птицы или насекомые.

2.11 « Цветной пропеллер» (тема - Атмосфера Земли)



Фото 31

Эта аэродинамическая игрушка привлекает внимание безостановочным вращением разноцветных лопастей при самом легком ветерке. Даже при полном отсутствии ветра можно заставить игрушку быстро вращаться, пробежав с ней в руках или крутнувшись на месте.

Игрушечный пропеллер практически готовый рабочий орган *анеометра* - прибора, служащего для измерения скорости ветра. Точное определение скорости ветра всегда необходимо на аэродромах, для безопасных взлета и посадки самолетов. Впрочем, и в полете воздушных лайнеров знание погодных условий также является неременным условием для выбора трассы наиболее выгодной в целях экономии топлива. Для метеорологов скорость воздушных потоков является одним из определяющих факторов в составлении прогнозов погоды. В морях и океанах сегодня, конечно осталось не так много парусных судов для которых изменения в ветровой обстановке подчас является вопросом жизни и смерти, но и для современных океанских лайнеров точные измерения скорости ветра помогают прокладывать наиболее безопасный и экономичный маршрут. Да и в закрытых помещениях знание скорости воздушных потоков всегда учитывается в процессе проектирования систем воздухопроводов и вентиляции, что порой бывает критически важным. А на птицефабриках нарушение нужной скорости потока воздуха, обдувающего яйца в инкубаторах, за два часа может погубить всех будущих цыплят, число которых порой измеряется десятками тысяч в одной партии, что конечно чревато огромными убытками.

Промышленные анеометры бывают самыми разнообразными по физическому принципу работы. Механические анеометры бывают внешне весьма схожими с нашей игрушкой, хотя наиболее распространенными из них являются приборы, где поток воздуха вращает не плоские лопасти, а легкие тонкостенные полусферы, обращенные вогнутой стороной к ветру. Полусферы закреплены на оси, скорость вращения которой фиксируется электронной автоматикой.

Существуют термометрические анеометры, в которых скорость ветра фиксируется в зависимости от степени охлаждения потоком воздуха специальной спирали с постоянным ее подогревом.

Высокой степенью чувствительности отличаются ультразвуковые анеометры, использующие особенность высокочастотного звука, который меняет скорость своего распространения при движении фронта звуковой волны на встречу ветру или в попутном направлении. Это вполне современные приборы и они чаще применяются в

автоматических системах.

Для измерения скорости движения воздушных масс в высотных слоях атмосферы от 35 до 40 километров применяются радиозонды, представляющие собой газонепроницаемую оболочку, заполненную водородом или гелием к которой крепится комплекс автоматической измерительной и радиопередающей аппаратуры. Однако такой способ имеет существенный недостаток – много и часто запускать зонды слишком дорого. Поэтому отслеживать изменение атмосферы на протяжении достаточно долгого времени с помощью радиозондирования невозможно и эту задачу помогают решить дистанционные методы измерения.

Скорость ветра на расстоянии позволят измерить оптические анемометры. Принцип работы таких приборов основан на использовании физического явления обнаруженного австрийцем Кристианом Доплером в 1844 году и впоследствии названным по его имени «*эффектом Доплера*». Суть эффекта состоит в том, при движении источника излучения волн в любой среде, частота излучаемых волн и частота волн воспринимаемых неподвижным приемниками не остается постоянной, а меняется в зависимости от того, приближается источник волн или удаляется. При сближении частота возрастает, а при удалении понижается. Этот эффект для нас проявляется наиболее ярко, когда стоящий на месте человек слышит звук проносящегося мимо автомобиля с непрерывно звучащим сигналом – сначала звук становится все выше и выше, а потом, когда автомобиль промчится мимо тональность звука постепенно понижается. В основном эффект Доплера нашел применение в оптических анемометрах где используются различные источники света и способы модуляции испускаемых волн и особо успешно используются лазеры.

Доплеровский эффект также используется для измерения скорости звука в акустических измерительных системах, так называемых *содарах*. При таком способе в атмосферу излучаются звуковые волны, которые рассеиваются на неоднородностях движущейся воздушной среды, которые всегда возникают в вихревых воздушных потоках из-за турбулентности. Мощность отраженного сигнала позволяет определить интенсивность турбулентности, а доплеровский сдвиг дает информацию о направлении движения воздушной среды. Однако звук очень быстро поглощается воздухом, и поэтому такой способ применим лишь на расстояниях не более одного километра.

В обыденной жизни у нас практически никогда нет необходимости в точном измерении скорости ветра, но для того, чтобы оценить ветровую обстановку приблизительно, не используя никаких приборов, существует так называемая «шкала Бофорта». В этой шкале скорость и сила ветра оценивается в баллах, а их значение определяется исключительно с помощью зрения. Визуально отмечается, каково воздействие воздушных потоков на окружающие предметы или водную поверхность, и в зависимости от этих наблюдений ветру дается оценка в баллах от 0 до 12. Эта шкала бала разработана адмиралом английского флота Френсисом Бофортом и стала общепризнанной начиная с 1874. Однако количество градаций в ней менялось от 14 до 17, лишь в 1963 Всемирной метеорологической организацией была принята единая 12-ти бальная шкала Бофорта.

Описание шкалы на официальном сайте Гидрометцентра России (<https://meteoinfo.ru/bofort>) приводится ниже.

Сила ветра у земной поверхности по шкале Бофорта (на стандартной высоте 10 м над открытой ровной поверхностью)				
Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Скорость ветра, м/сек	Действие ветра	
			на суше	на море
0	Штиль	0-0,2	Штиль. Дым поднимается вертикально	Зеркально гладкое море
1	Тихий	0,3-1,5	Направление ветра	Рябь, пены на гребнях нет

			заметно по отношению дыма, но не по флюгеру	
2	Лёгкий	1,6-3,3	Движение ветра ощущается лицом, шелестят листья, приводится в движение флюгер	Короткие волны, гребни не опрокидываются и кажутся стекловидными
3	Слабый	3,4-5,4	Листья и тонкие ветви деревьев всё время колеблются, ветер развеивает верхние флаги	Короткие, хорошо выраженные волны. Гребни, опрокидываясь, образуют стекловидную пену, изредка образуются маленькие белые барашки
4	Умеренный	5,5-7,9	Ветер поднимает пыль и бумажки, приводит в движение тонкие ветви деревьев	Волны удлиненные, белые барашки видны во многих местах
5	Свежий	8,0-10,7	Качаются тонкие стволы деревьев, на воде появляются волны с гребнями	Хорошо развитые в длину, но не очень крупные волны, повсюду видны белые барашки (в отдельных случаях образуются брызги)
6	Сильный	10,8-13,8	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода	Начинают образовываться крупные волны. Белые пенистые гребни занимают значительные площади (вероятны брызги)
7	Крепкий	13,9-17,1	Качаются стволы деревьев, идти против ветра трудно	Волны громоздятся, гребни срываются, пена ложится полосами по ветру
8	Очень крепкий	17,2-20,7	Ветер ломает сучья деревьев, идти против ветра очень трудно	Умеренно высокие длинные волны. По краям гребней начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра
9	Шторм	20,8-24,4	Небольшие повреждения; ветер срывает дымовые колпаки и черепицу	Высокие волны. Пена широкими плотными полосами ложится по ветру. Гребни волн начинают опрокидываться и рассыпаться в брызги, которые ухудшают видимость
10	Сильный шторм	24,5-28,4	Значительные разрушения строений, деревья вырываются с корнем. На суше бывает редко	Очень высокие волны с длинными загибающимися вниз гребнями. Образующаяся пена выдувается ветром большими хлопьями в виде густых белых полос. Поверхность моря белая от пены. Сильный грохот волн подобен ударам. Видимость плохая
11	Жестокий шторм	28,5-32,6	Большие разрушения на значительном	Исключительно высокие волны. Суда небольшого и среднего размера временами скрываются из вида. Море

			пространстве. На суше наблюдается очень редко	всё покрыто длинными белыми хлопьями пены, располагающимися по ветру. Края волн повсюду сдуваются в пену. Видимость плохая
12	Ураган	32,7 и более		Воздух наполнен пеной и брызгами. Море всё покрыто полосами пены. Очень плохая видимость

2.12 «Музыкальный молоток» (тема - Физика звука)

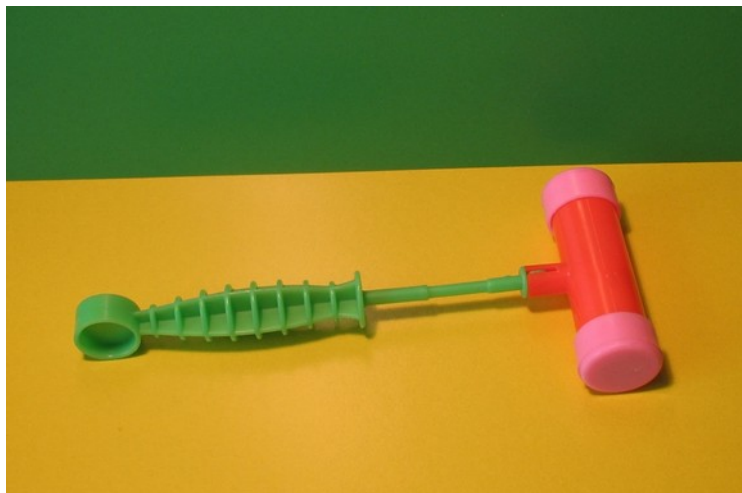


Фото 32

Ударная часть угрушечного звучащего молотка представляет собой небольшой отрезок пластиковой трубки, которая заглушена с одного торца и закрыта тонкой решеткой с другого. Внутри трубки может свободно перемещаться небольшой поршень с продольным отверстием, которое перекрыто тонкой упругой мембраной так, что если через отверстие проходит даже небольшой поток воздуха, мембрана начинает вибрировать издавая при этом достаточно громкий звук. Чтобы заставить молоток звучать необходимо начать делать им движения, имитирующие удары обычного молотка, при этом поршень, в силу своей инерции, начнет перемещаться внутри трубки и сжимать воздух в заглушенной части трубки. Сжатый воздух, проходя через отверстие в поршне заставляет вибрировать мембрану и игрушка издавает довольно громкие, пищащие звуки в ритме имитации ударов. Тональность или частота издаваемых молотком звуков определяется гибкостью мембраны, а их громкость или мощность - резкостью взмахов молотком.

Дальность распространения звуковых волн определяется возможностью поглощения энергии колебаний той среды в которой звук распространяется. Чем выше степень упругости среды и чем меньше препятствий встречает звук на своем пути, тем большее расстояние преодолевает фронт звуковой волны. В одной и той же среде и при одинаковой мощности излучателя звук практически не поглощаясь преодолевает расстояние которое зависит от его частоты – чем выше частота, тем сильнее поглощение. При частоте звука 10000 герц его поглощение в воздушной среде примерно в 100 раз сильнее чем звука с частотой 1000 герц и примером тому может служить звучание оркестра на разном удалении. На малом удалении от оркестра скрипки, флейты и другие инструменты высокой тональности с частотой звука около 20 000 герц позволяют звучать ему в полной гармонии, но на удалении будут слышны только гулкие звуки ударных частота которых близка к 20 герцам.

Интересно, что в отличие от дальности распространения, скорость распространения звуковых волн в любой среде от частоты практически не зависит, она определяется главным образом агрегатным состоянием этой среды - газ, жидкость или твердое тело, и в несколько меньшей степени от температуры этой среды. Так например в воздухе скорость звука практически любой частоты, при разнице температур от -30°C до 120°C , может измениться почти на 15 процентов, от 300 метров в секунду до 350. Это означает, что при повышении температуры воздуха на 1°C скорость звука возрастает примерно на 0,6 метра в секунду. Скорость звука в воздухе меняется при различных

погодных условиях, а также зависит от его давления, определяемого высотой над уровнем океана.

У реактивных самолетов, обычно летающих со скоростями близкими к скорости звука или превышающими её, скорость измеряют числами Маха, которое представляет собой отношение скорости летательного аппарата к скорости звука на той высоте, где он в данный момент летит. Так например у боевого истребителя МиГ-31 на высоте 10 километров крейсерская сверхзвуковая скорость равна 2,35 Маха и это означает, что при скорости звука 1062 км/час, его скорость достигает $2,35 \times 1062 = 2\,495,7$ км/час. У пассажирского самолета Боинг 777 крейсерская скорость равна 0,84 Маха или $0,84 \times 1062 = 892,08$ км/час.

Скорость звука в жидких средах значительно выше чем в газах. Неожиданным является то, что если с увеличением плотности газов скорость звука в таких средах уменьшается, то в жидкостях наоборот, при увеличении плотности растет, что показано на таблице.

Газ	Плотность г/см ³	Скорость звука м/с	Жидкость	Плотность г/см ³	Скорость звука м/с
Водород	0,0000899	1 286	Бензин	0,71	1170
Гелий	0,00017846	970	Вода	1	1480
Азот	0,001251	334	Глицерин	1,26	1923

Из приведенной выше таблицы видно, что в водной среде звук распространяется примерно в четыре с половиной раз быстрее, чем в воздухе. Впервые скорость звука в воде была измерена в 1827 году с помощью двух лодок на Женевском озере, между которыми было около четырнадцати километров. С одной из лодок, в воду, был спущен колокол, удар по которому был синхронизирован с помощью веревки со вспышкой пороха на борту. Во второй лодке находился наблюдатель, который, зафиксировав момент вспышки, измерял промежуток времени до того момента, когда в специальной трубке, опущенной в воду, появлялся звук удара. Измеренная ими скорость звука составляла 1435 метров в секунду.

Позднее было установлено, что с еще большей интенсивностью, чем в воздухе, скорость звука в воде изменяется в зависимости от температуры – повышение температуры на 1°С влечет за собой увеличение скорости звука на 3,58 метра в секунду, это в 6 раз больше чем в воздухе. Хотя вода является практически не сжимаемой жидкостью, скорость звука в значительной степени зависит от той глубины, на которой проводятся измерения. На малых глубинах скорость звука в воде равна 1440 метров в секунду, но при погружении на глубину 2000 м скорость звука окажется равной 1484 м/сек, а на глубине 4000 метров она будет равна 1529 и на глубине 8000 метров - около 1600 м/сек.

С ростом глубины мирового океана температура воды понижается, но на глубине примерно 1200 метров температура становится постоянной. Именно на этой глубине отмечается минимальная скорость звука, которая в дальнейшем, при увеличении давления и при постоянной температуре начинает расти. Поскольку звуковые волны всегда стремятся туда, где их скорость меньше, то в этом слое океанских вод (на глубинах около 1200 метров) происходит концентрация звука, и он может распространяться здесь на огромные расстояния без особого поглощения. Такой слой называют «подводным звуковым каналом», его открыли в середине прошлого века независимо друг о друга американские ученые и ученые СССР. Сегодня известно, что подводным звуковым каналом пользуются для общения горбатые киты.

Эти и другие особенности распространения звука в толще воды изучает специальная наука - *гидроакустика*, прикладное значение которой играет важную роль в океанологических исследованиях, рыбной разведке, морской навигации, освоении полезных ресурсов морского дна.

В твердых веществах звуковые волны распространяется несколько иначе, чем в жидкостях и газах. В жидких и газообразных средах молекулы слабо связаны между собой, могут перемещаться друг относительно друга и при движении фронта звуковой волны передают энергию посредством соударений, сдвига молекул при этом не происходит. Поэтому в этих средах звук может двигаться только в одном направлении - от источника звука и существуют только продольные звуковые волны. В твердых веществах молекулы, хотя и колеблются, но в среднем удерживаются на месте силами так называемого межмолекулярного взаимодействия, природа которого имеет электростатическое происхождение. Это позволяет твердым телам сохранять свою форму, а также предавать импульсу звукового воздействия не только вдоль, но поперек его направления. Поэтому звук в твердых телах распространяется не только продольными волнами, но и поперечными: волны сжатий и расширений распространяются во все стороны. Скорости распространения звука в твердых телах намного больше, чем в жидкостях и газах. Однако это относится только к продольным волнам, поперечные движутся намного медленнее, при этом и та и другая скорости определяются упругими свойствами твердых тел. Так, например, в пластичном свинце скорости поперечной и продольной звуковых волн равны 700 и 2400 метров в секунду, а в упругом кварце 3762 и 5970 метров в секунду соответственно.

Интересный факт – наше Солнце представляет собой непрерывно работающий термоядерный реактор, который хотя и находится от нас очень далеко, но излучает около 100 до 300 ватт звуковой энергии с одного квадратного метра. Если бы космическое пространство между нами и Солнцем не представляло собой вакуум, а было бы заполнено воздухом, то мы могли бы слышать работу этого реактора. Ученые определили, что суммарный звук термоядерной реакции с поверхности всего Солнца доходил бы до Земли с такой интенсивностью, что мы бы слышали его примерно так, как если стояли поблизости от взлетающего реактивного лайнера, а это не менее 120 децибел.

2.13 «Хлопушка» (тема - Звуковое восприятие)



Фото 33

Одна из разновидностей традиционных русских деревянных игрушек, представляет собой полый деревянный цилиндр, с одной стороны которого вставлен подвижной поршень на рукоятке, а противоположная сторона цилиндра плотно закрыта корковой пробкой. Пробка связана с цилиндром тонким, но прочным шнурком и может быть вставлена в цилиндр настолько плотно, что за счет силы трения способна удерживать давление воздуха порядка 2 - 3 атмосфер, которое создается, если поршень с некоторым усилием вдвигать в цилиндр. Когда вдвигаемый в цилиндр поршень создает давление воздуха больше, чем способна удерживать пробка, она с громким хлопком вылетает из цилиндра и удерживается от дальнейшего полета шнурком. Цикл может повторяться многократно, а поскольку такие хлопки есть не что иное, как повторяющиеся звуковые импульсы, то с помощью такой игрушки можно начать объяснение физической природы звука, в частности одного из его параметров – тональности или звуковой частоты.

Наука, о звуке, о его возникновении, восприятии, особенностях воздействия называется акустикой. Мы, люди, можем воспринимать волны сжатий и расширений воздушной среды с помощью узко специализированного органа – уха, внутри которого есть достаточно тонкая пленка, так называемая барабанная перепонка, соединенная с тремя специальными слуховыми косточками, они называются «молоточек», «наковальня» и «стремечко». Звуковые колебания через барабанные перепонки заставляют вибрировать звуковые косточки, которые через особую жидкость, находящуюся в сложной системе внутреннего уха раздражают специальные слуховые рецепторы, возбуждение которых по слуховому нерву передается в мозг.

В быту для нас главными характеристиками звука являются его частота, громкость и скорость распространения. Для измерения частоты любых колебаний, и не только звуковых, существуют особые единицы измерения - *герцы*, названные так в честь немецкого ученого-физика Генрих Герца. Физический смысл этих единиц очень прост: количество колебаний происходящих за одну секунду соответствует числу герц.

Например, наше сердце сокращается один раз в секунду и это означает, что частота нашего сердечного ритма равна одному герцу. В молодые годы человек может воспринимать звуковые колебания с частотой от 20 до 24 000 герц, с возрастом чувствительность может заметно снизиться. Причиной такого снижения кроме естественных биологических причин в значительной степени являются испытываемые в жизни звуковые нагрузки, определяемые их длительностью, громкостью и частотой.

Звук частотой меньше чем 16 герц называют «инфразвуком», он не воспринимается человеческим ухом, не слышим для нас и, тем не менее, является звуковой нагрузкой. Источниками инфразвуковых волн могут служить колебания низкой частоты, возникающие при землетрясениях, грозовых раскатах грома, при работе автомобилей и других механизмов. Многие животные обладают способностью ощущать инфразвук, например, подмечено, что часто перед землетрясениями или цунами - масштабными стихийными бедствиями причиной которых являются подвижки земной коры, птицы, рыбы, слоны и другие животные, воспринимая инфразвуковые предвестники, начинают, без видимых для нас причин, вести себя беспокойно, метаться и паниковать. Известно, что медузы хорошо ощущают звуковые колебания частотой 8 - 13 герц, такой инфразвук возникает в море перед началом штормом, и медузы, чувствуя его приближение, устремляются вдаль от берегов. Благодаря тому, что инфразвук хорошо передается водной средой бегемоты, крокодилы и китообразные выработали способность к передаче и приему звуковых сигналов на этой частоте и это позволяет им расширить коммуникационные возможности. Человек, хотя и не может слышать инфразвук, но вполне способен его ощущать. Сегодня уверенно доказана опасность инфразвукового воздействия на человека, мощный инфразвук влияет на работу сердца и головного мозга, и даже способен вызвать расстройства психики. К счастью, в повседневной жизни с мощными инфразвуковыми колебаниями мы практически никогда не встречаемся, а на опасных производствах обязательно имеются средства защиты и шумопоглощения.

Другим, не слышим для человеческого уха звуком, является *ультразвук*, который представляет собой звуковые колебания с частотой свыше 20 000 герц. В природе высокочастотный ультразвук чаще всего встречаются одновременно с низкочастотным инфразвуком. Так и землетрясения и грозы сопровождаются звуками обоих диапазонов, это же можно сказать о шуме дождя или ветра. В животном мире чемпионом по своим возможностям в использовании ультразвука являются дельфины. Доказано, что с помощью сложной системы сигналов на звуковых частотах в диапазоне от 20 000 до 250 000 герц они способны общаться. Эти же частоты помогают им также ориентироваться в пространстве с помощью эхолокации, оглушать, дезориентировать и даже убивать свои охотничьи трофеи. Летучие мыши также летают ночью и охотятся с помощью ультразвука, при этом некоторые бабочки, на которых они охотятся, также способны воспринимать ультразвук и, почувствовав, что на них идет охота, уходят из опасной зоны.

Впервые создать источник звука сверх высокой частоты, около 175 000 герц, удалось в 1883 году английскому ученому Фрэнсису Гальтону, он продувал под высоким давлением водород через небольшой цилиндрический свисток с очень острой кромкой. В 1880 году два брата, французские физики Пьер и Жак Кюри открыли пьезоэлектрический эффект – образование электрического заряда на поверхности кварцевого кристалла при его сжатии, а также появление механической вибрации этого же кристалла в случае приложения к двум его поверхностям переменного электрического потенциала.

Сегодня ультразвук нашел самое разнообразное применение в биологии, медицине и технике. В биологии ультразвук дает возможность работать с клеточными мембранами, воздействуя на ДНК, он позволяет создавать искусственные мутации в рамках генной инженерии. В медицине разработаны и широко применяются ультразвуковые приборы для диагностики и лечебного воздействия, в том числе и в онкологии. В науке и на производстве ультразвук используется в материаловедении, обработке твердых и хрупких материалов, гидролокации, при неразрушающем контроле, и многих других.

2.14 «Игрушечная вувузела» (тема - *Мощность звука*)

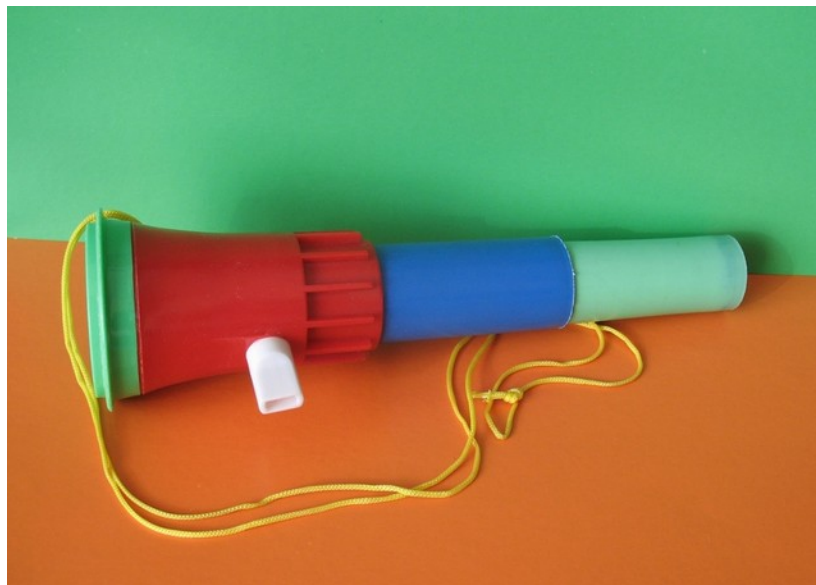


Фото 34

Вувузела, еще ее называют *лепатата*, это изначально национальный музыкальный инструмент народов Африки в виде дудочки. Раньше такая дудочка изготавливалась из рогов антилопы и издавала чрезвычайно громкие звуки, служившие для оповещения соплеменников о важных событиях, для загона зверей на охоте, а также непременным сопровождением танцев и пения.

Однако, начиная с чемпионата мира по футболу 1970 года, вувузела становится известной всему миру как предмет совершенно иного назначения. Благодаря своей чрезвычайно громкости и способности издавать звук одной, весьма специфической тональности, вувузелы приобретают чрезвычайно высокую популярность среди особо активных болельщиков футбола и других игровых видов спорта. Однако их повышенная шумность привела к тому, что в ряде стран использование вувузел на крупных соревнованиях становится под запрет.

Громкость звука, не смотря на то, что она определяется таким физическим параметром как энергия звуковой волны, для человека является субъективной характеристикой и определяется нашими слуховыми ощущениями, которые у каждого могут быть разными, в зависимости от состояния здоровья и возраста. Единицами громкости в физике являются так называемые *соны*, которые зависят частоты звука и звукового давления. Громкость звука с частотой 1000 герц и величиной в 1 сон создает давление звуковой волны на наши барабанные перепонки примерно 2 мегапаскаля, что соответствует 2 кг/см^2 . Более известны и часто используются в быту другие характеристики громкости звука - *децибелы*. Децибел это особая единица измерения не входящая в международную систему единиц СИ, не являющаяся физической величиной и представляющая собой лишь математическое понятие, определяемое весьма сложной формулой. Сравнить децибелы можно, правда весьма приблизительно, с процентами. Децибелы также безразмерны и показывают сравнительный уровень звукового давления по сравнению с некоторым эталонным. Один децибел очень крупная величина и с увеличением громкости количество децибел растет не линейно. Так, например, субъективная для нас тишина, при 0 децибел, отнюдь не означает, что звук отсутствует, это лишь говорит о том, что мощность звуковой волны настолько мала и наши барабанные перепонки не реагируют на нее, 20 децибел – тихий шепот, 45 децибел – громкий разговор, 100 децибел – концерт роковой музыки. Ну а звук в 160 децибел уже

крайне опасен для человека, он соответствует громкости пистолетного выстрела возле уха, это практически неизбежная и серьезная травма слухового аппарата, сопровождаемая разрывом барабанных перепонок. Сегодня считается, что для человека практически безвреден шум 20 -30 децибел, а предельно допустимой границей являются 80 децибел.

Распространение звука вокруг нас зависит от многих причин. В лесу или помещении, в сухую или влажную погоду и в зависимости от тональности, даже при одинаковой мощности звука, он будет распространяться по-разному. На открытом пространстве его громкость падает прямо пропорционально расстоянию от источника звука - расстояние в два раза больше, громкость в два раза тише. Но в помещениях и там где есть препятствия, происходит переотражение звука от стен и препятствий, что приводит к появлению многократных вторичных звуковых волн. В больших помещениях, таких например как концертные залы, сложение многократно отраженных звуковых волн создает так называемый эффект *реверберации*, который обеспечивает особое, объемное звучание. Время полного затухания отраженного звука до его полного исчезновения называется временем реверберации. Чем больше помещение, тем сильнее реверберация и интереснее звучание музыкальных инструментов. Иногда реверберацию стараются усилить с помощью особого расположения стен и потолка. Но иногда реверберация носит и нежелательный характер, например в дикторских и звукозаписывающих студиях.

Схожим с реверберацией по своей физической сути является хорошо всем известное эхо, которое является отраженным звуком и зависит от скорости распространения звуковых волн, а также от расстояния до отражающей поверхности.

2.15 «Игрушечные гусли» (тема - Источники звука)



Фото 35

Гусли – традиционный щипковый музыкальный инструмент народов восточной и северной Европы. Этот инструмент имеет большое сходство с еще более древними античной кифарой и арфой, а известен на Руси был уже со второго века нашей эры. Старинные гусли имели жильные струны общим числом до шести десятков, в современных гуслиях обычно не более девяти.

Для генерации любого звука необходимо либо наличие колеблющееся тела вызывающего колебания окружающего воздуха, либо условия для образования турбулентных воздушных потоков. В качестве колеблющегося тела могут служить голосовые связки, динамики или камертоны, любая колеблющаяся мембрана и сам корпус музыкального инструмента. Существуют также современные электронные музыкальные инструменты создающие звук при помощи мембраны, колеблемой электромагнитом. Для создания когерентного звука строго заданной частоты применяются так называемые звуковые или фоновые лазеры.

В рассказе об игрушке «Хлопушка» уже упоминалось, что основной характеристикой любой волны являются ее частота - количество колебаний в единицу времени, которая измеряется в герцах. Великий ученый античности Пифагор не только заложил основы философии как науки и составил базис современной математики и геометрии, он занимался также механикой, космологией, медициной, теорией искусств и многими другими областями человеческих знаний. Примерно в 520 году до нашей эры он изобрел однострунный музыкальный инструмент известный сегодня как монохорд. В этом инструменте натянутая струна разделялась на две части подвижной опорой, перемещая которую можно было разделять ее на две части неодинаковой длины. Двумя одновременными щипками можно было заставить звучать одновременно и независимо обе части одной струны, при этом каждая часть звучала в своей тональности, частота которой зависела от длины этой части. Экспериментируя с монохордом, Пифагор обнаружил, что приятные слуху созвучия издают две одновременно вибрирующие части одной струны только тогда, когда их длины относятся как целые числа первой четверки, т. е. как 1:2, 2:3, 3:4. Это открытие легло в основу современной теории музыки с ее основными музыкальными интервалами - октавой (2:1), квартой (4:3), квинтой (3:2) и трезвучием (3:4:6). Сегодня такие приятные звуку созвучия называются *консонансами*, а лишённые музыкальной гармонии созвучия называют *диссонансами*. Легенды также

приписывают Пифагору изобретение колков - зубчатого механизма для регулировки натяжения струн в музыкальных инструментах с несколькими параллельными струнами схожими с лирой, арфой и т.п.

Во всех музыкальных инструментах кроме вибрирующего элемента, генерирующего звук, имеется особая полость, усиливающая громкость звука - так называемый резонатор. Звуковой резонанс это резкое увеличение амплитуды колебаний воздушной или любой другой звучащей среды, (громкости) при совпадении частоты внешнего генератора звука с частотой уже звучащей среды. Для обеспечения устойчивого звукового резонанса в воздушной среде, необходимо наличие закрытого объема воздуха. Это условие обеспечит многократное переотражение от стенок к уже колеблющимся волнам, а внешней источник обеспечит убыль энергии при поглощении.

В гитарах, скрипках и других струнных резонатором является пустотелый деревянный корпус, в духовых инструментах роль резонатора играют полости труб из самых разных материалов - медных, тростниковых, деревянных и др. Очень важную роль играет форма резонатора, именно она обеспечивает максимальное количество переотражение звуковых волн той или определенной частоты. Этому есть простое объяснение - переотражение максимально в том случае, если переотражаемая звуковая волна имеет длину, которая укладывается в расстояние между отражающими поверхностями целое числа раз, при этом частота звука обратно пропорциональна длине звуковой волны: $\lambda = \frac{V}{\nu}$, где λ - длина звуковой волны; ν - частота звука; V - скорость

звука. Выбор материал резонатора также зависит от преобладающего частотного диапазона того или иного музыкального инструмента. Это объясняется тем, что интенсивность поглощения звуковых волн определяется упругостью материала резонатора и шероховатостью поглощающей поверхности.

В нашей жизни часто встречается обратная проблема - не создание приятной звуковой среды, а наоборот, звукоизоляция. Практически на всех производствах, в строительстве и на транспорте существуют высокие уровни шумового воздействия, при которых необходима специальная защита слухового аппарата работающих. В крупных городах сегодня крайне актуальной является проблема шумоизоляции нашего жилья. Для решения этих задач учеными акустиками разработаны специальные методы и способы шумоподавления, основанные на изменении направленности излучения шума, рациональной архитектуре и планировке зданий, применении звукопоглощающих материалов и покрытий.

3. Электричество

3.1 « Генератор Ван де Граафа» (тема - Электростатика)



Фото 36

Игрушка представляет собой пластиковую рукоятку, в которой скрыты две пальчиковые батарейки, электрический моторчик, бесконечный конвейер из шелковой ленточки с приклеенными на ней полосками металлической фольги, токосъемник, снимающий заряды с металлических полосок и кнопка электрического выключателя. На верхнем конце рукоятки имеется металлический контакт, который, соединяясь с токосъемником внутри рукоятки, одновременно входит в плотный контакт с внутренней поверхностью картонного цилиндра, одеваемого на этот конец.

Если взять собранную игрушку, подробно ее рассмотреть и даже привести в действие, нажав на кнопку, расположенную на рукоятке, то понять, как именно с ней играть, и для чего она предназначена будет весьма не просто без специальной инструкции и дополнительных пояснений. Действительно, нажав на кнопку можно услышать лишь негромкое жужжание встроенного моторчика - ничего более происходить не будет. Однако если положить на самый край картонной трубки полоску очень тонкой лавсановой разрезанной особым образом пленки и покрытой еще более тонким слоем металла, то после недолгой работы моторчика, разрезанные лепестки пленки начнут, как бы раздуваться, и бесформенная полоска превратится в красивую объемную структуру. Более того, даже если в дальнейшем перестать нажимать на кнопку и при неработающем моторчике, стряхнуть раздувшуюся объемную структуру из металлизированной пленки с картонной трубки, то она будет парить над ней, словно в невесомости. Столь же необычно поведет себя фигурка бабочки, вырезанной из той же металлизированной пленки, которая также есть в комплекте игрушки. Будучи уложенная на край картонной трубки, после нескольких секунд работы моторчика, бабочка неожиданно оторвется от трубки, и будет парить над ней даже при выключенном моторчике.

Это необычное, весьма красивое и загадочное поведение металлизированной пленки находит свое объяснение в проявлении сил электростатического отталкивания. Что такое электричество абсолютно точно никто не знает и по сей день, хотя познакомились люди с ним еще в античные времена. Первым, еще в 500-х годах до нашей

эры, указал на свойство натертого янтаря притягивать легкие пылинки, а магнита железо был античный грек Фалес Милетский. Тогда же были описаны необычные свойства электрических рыб и предложены способы применения их в лечебных целях. Так за 30 лет до нашей эры Диоскорид использовал удары электрического угря для лечения подагры и хронических головных болей. Кроме того, у древнеримских авторов встречается упоминание о свечении верхушек мачт на кораблях и заостренных частей высоких зданий перед грозой, позднее это явление получило название *огня Святого Эльма*, по имени этого католического святого, покровителя моряков. У Лукреция Кара, жившего в первом веке до нашей эры, мы можем найти своеобразную научную концепцию магнитных свойств, по которой магнит излучает мельчайшие частицы – «зерна», которые расталкивают воздух, образуя в нем пустоты, куда устремляются атомы железа.

Во времена средневековья, по не совсем понятным причинам, интерес ученых того времени к проявлениям электрических или магнитных свойств никак себя не проявил. Лишь с начала сороковых годов XVIII века отмечается настоящая вспышка интереса к электричеству и не только в среде ученых, но и в широких слоях образованного общества. Примечательно, что этот интерес не носил какой-либо практической цели, а носил главным образом развлекательный характер и объяснялся исключительно любопытством.

В качестве наиболее распространенной теории электричества, тогда было перетекание некоей невесомой жидкости от одного тела к другому, которое собственно и образует электрический ток, а наличие или отсутствие запаса такой жидкости должно обеспечивать электростатический заряд. Сторонниками такой точки зрения были такие знаменитые ученые как Бенджамин Франклин и Алессандро Вольты, Шарль Кулон и Симеон Пуассон. Интересно, что хотя к этому времени уже просматривалась возможная связь между электричеством и магнетизмом, но никаких опытов для проверки придумать тогда не смогли – это было сделано лишь в начале XIX века.

Другим направлением в теории электричества в середине XVIII века был принцип *дальнего действия*. Согласно ему переносчиками электрического и магнитного взаимодействия являются невесомые и неуловимые частицы эфира. Основоположителем таких представлений был Рене Декарт, их же придерживались Михайло Ломоносов и Леонард Эйлер.

Следующим этапом развития теории электричества оказалось введение в науку понятия «поле» английским ученым Майклом Фарадеем и создание теории электромагнитного поля Джеймсом Максвеллом. Дальнейшее развитие теории Максвелла, ставшей в конце XIX века классической электродинамикой, привело в начале уже XX века к формированию Максом Планком основ квантовой теории поля и созданию Альбертом Эйнштейном специальной теории относительности.

Все этапы развития теории электричества совершенно естественным образом сопровождались развитием искусства эксперимента и совершенствованием практических исследований, сначала электростатики и магнетизма, а затем и электродинамики.

Пожалуй, первыми, ставшими известными после античных опытов Фалеса Милетского с натертым янтарем, стали эксперименты английского врача и ученого естествоиспытателя Уильяма Гильберта с тем же янтарем и различными магнитами.

Впервые, в 1672 году, немецкий физик Отто фон Герике описал специальный механизм, вращающий пятнадцатиметровый шар из литой серы, способный осуществить сильную электризацию. Вероятно, построенное им устройство было самым первым электрогенератором. Английский физик Фрэнсис Гауксби усовершенствовал машину Герике, и у него вращался и натирался руками уже не сплошной шар из серы, а пустотелый шар из стекла, с откачанным из него воздухом. В своем генераторе электричества он наблюдал необычное свечение, сегодня мы бы назвали бы это явление свечением ионизированной плазмы. Интересно, что подобные эксперименты демонстрировались Гауксби на заседаниях Лондонского королевского общества развития

естественных наук, а Исаак Ньютон, бывший в то время его почетным президентом, проявлял к ним немалый интерес.

В 1745 году в Лейдене Питер ван Мушенброк обнаруживают возможность накопления значительного электрического заряда в стеклянной банке, заполненной ртутью. Таким образом был изобретен первый объемный конденсатор, названный позднее *лейденской банкой*, что послужило мощным импульсом к совершенствованию электрических машин.

В 1766 г. английским оптиком Джессом Рамсденом была построена электрическая машина, в которой вращающийся стеклянный диск натирался двумя подушечками, покрытыми *амальгамой*- сплавом ртути с другими металлами, а электрический заряд накапливался с помощью нескольких лейденских банок.

Самой большой из когда-либо построенных электростатических машин трения был построенный в 1784 году Джоном Кутбертсоном в Гарлеме электростатический генератор с двумя стеклянными дисками диаметром 1,65 метров и четырьмя наборами лейденских банок. Этот генератор позволял получить заряд с потенциалом 330000 вольт.

В 1754 году Джон Кантон с помощью усовершенствованного им электроскопа, обнаружил, что два легких соприкасающихся металлических шарика начинают отталкиваться при приближении к ним третьего заряженного шарика внешнего заряда – была открыта электростатическая индукция. С помощью этого открытия был найден способ получения заряда на токопроводящих телах без прикосновений к внешнему заряду и без натирания, он стал известен как «электризация через влияние». При таком способе к двум соприкасающимся металлическим шарикам, не имеющим электрического заряда, подносят третий шарик, на котором имеется определенный электрический заряд. В электростатическом поле заряженного шарика происходит перераспределение свободных электронов на поверхности соприкасающихся шариков - часть этих электронов притянется или оттолкнется к создающему поле заряду, в зависимости от его знака. А далее, разъединив соприкасающиеся шарики, убирают заряженный шарик, и на каждом из разъединенных шариков оказывается заряд противоположного знака.

Именно такой способ использовал Александр Вольта при создании первого в мире *электрофора* - генератора электричества основанного на индукции. Электрофор Вольта устроен очень просто - гладкий диск из смеси смолы, воска и скипидара отлитый в металлической оправке, а над ним диск из металла, не соприкасающегося с оправкой – вот и вся конструкция. Вся хитрость в том, как это устройство работает, и вот здесь уже все не так просто. Прежде всего, металлическую оправку соединяют металлическим проводом с землей – *заземляют*. Затем, сняв металлическую пластину с диска с серой и воском, натирают диск мехом, электризуя и создав на поверхности диска отрицательный заряд. Далее кладут металлический диск на поверхность заряженного не токопроводящего диска. При этом металлический диск не должен соприкасаться с металлической оправкой. Положительные заряды на смоляном диске притянут отрицательные заряды на ближайших к нему металлических поверхностях оправки и диска, при этом положительные заряды с оправки по металлическому проводу перейдут в Землю, а на верхнем листе, они останутся. Поскольку заряд на смоляной пластине практически не изменился, она ведь не проводит электрический ток, то подобный цикл можно повторять многократно, и каждый раз получать положительно заряженный металлический лист без нового натирания смоляного диска, исключительно за счет перераспределения зарядов на металлическом листе и Земле.

Циклический процесс получения зарядов влиянием автоматизировал английский изобретатель Фрэнсис Рональдс. В качестве металлической пластины периодически соединяемой с наэлектризованным изолятором он использовал груз маятника, движимый часовым механизмом. Подобный механизм Рональдс использовал при создании первого в мире электрического телеграфа.

В 1788 году Уильям Николсон предложил перемещать металлическую пластину, вращая ее над заряженным изолятором, тем самым создал первый прообраз современных электрофорных машин.

Близкие к современному виду электрофорные машины с двумя вращающимися стеклянными дисками почти одновременно сконструировали два немецких физика - Август Теплер и Вильгельм Хольц. Машина Хольца была немного проще по конструкции, но работала более эффективно, чем у Теплера.

Еще более совершенный вариант этих машин в 1883 году предложил английский изобретатель Джеймс Вимшустер. Его конструкция с двумя вращающимися стеклянными дисками, двумя лейденскими банками и двумя электродами в виде стальных шариков, является весьма наглядным демонстрационным устройством по электростатике, она и по сей день широко используется в школьных физических лабораториях.

Окончание 19-го века знаменовалось невиданно бурным ростом масштабных исследований в области строения материи. В качестве необходимого инструментария потребовались устройства, позволяющие создать электрические заряды с максимально возможным потенциалом - не менее сотен тысяч вольт, а в идеале десятки и сотни миллионов вольт. Электрофорные машины не могли обеспечить необходимые параметры, и в 1933 году, американским физиком Робертом Ван де Граафом в Принстоне, был создан электрогенератор, позволяющий достичь напряжения около 7 000 000 вольт.

Принцип работы генератора Ван де Граафа такой же, что и у электрофорных машин - электризация влиянием. Основное отличие заключается в том, что в новом генераторе, небольшие заряды, получаемые электризацией влиянием, переносятся в основной накопитель не со стеклянных дисков, а с бесконечной конвейерной ленты из изолирующего материала, на которой наклеены гибкие металлические полоски фольги.

Весьма остроумным решением в генераторе Ван де Граафа было перенесение единичных зарядов с полосок фольги именно на внутреннюю поверхность накопителя заряда. Поскольку накопитель представлял собой тонкостенную полу сферическую металлическую сферу с закругленными краями, то любой новый единичный заряд с внутренней поверхности, под действием силы Кулона, перемещался на внешнюю поверхность. Даже при очень высоком потенциале на внешней поверхности сферы, внутри ее потенциал всегда оставался нулевым, и новые малые единичные заряды без препятствий попадали внутрь накопителя и тут же переносились на поверхность. Именно это свойство полых сферических накопителей электростатического заряда и позволяло получать столь высокое напряжение.

Несмотря на очень малый коэффициент полезного действия, не более 20 %, генераторы Ван де Граафа в начале и середине 20-го века сыграли исключительно важную роль для ускорения заряженных частиц в ядерных исследованиях, в материаловедческих работах и освоении техники высоких напряжений. Такие генераторы и сегодня используются в отдельных научных центрах, хотя намного чаще их можно встретить в современных научных музеях и в крупных образовательных центрах, где они работают как чрезвычайно эффектное демонстрационное устройство.

3.2 «Игрушечный радиоуправляемый автомобиль» (тема - Радиосвязь)



Фото 37

Радиоуправляемые игрушки появились совсем недавно, во второй половине прошлого века. Принцип работы радиосвязи основан на совместной работе двух электронных устройств – генератора электромагнитных волн и их приемника, которые находятся на удалении друг от друга. Самым простым источником электромагнитных волн являются повторяющиеся с определенной частотой электрические разряды. В 1887 году Генрих Герц обнаружил, что если неподалеку от электрической цепи с такими разрядами находится незамкнутая металлическая рамка с небольшими шариками в разрыве, то между ними также появляются разряды – немного ослабленные, но почти одновременные.

Энергия, необходимая для возникновения зарядов передается по воздуху с помощью электромагнитных волн, частота и длина которых определяется периодом времени между разрядами. Зависимость длины волны λ от периода времени T между двумя ее пиками, а также скорости V распространения фронта волны для обычных колебательных систем описывается традиционной формулой: $\lambda = VT$. Поскольку длительность одного колебания (период T) и частота волны ν обратно пропорциональны $T = \frac{1}{\nu}$, а скорость распространения электромагнитных волн равна скорости света $v = c$, то можно отметить, что частота электромагнитных волн находится в зависимости от их длины как: $\lambda = \frac{c}{\nu}$

В ходе экспериментов Генрихом Герцем было изобретено специальное устройство создающее часто повторяющиеся разряды и генерирующее электромагнитные волны, которое позднее было названо в его честь *вибратором* Герца. Сегодня оно более известно как *открытый колебательный контур*. В качестве приемника электромагнитных волн во времена Герца использовалась незамкнутая металлическая рамка – это простейший *резонатор*. На базе таких искровых генераторов электромагнитных волн Г. Поповым и Г. Маркони в самом конце XIX века были построены первые радиопередатчики и радиоприемники с помощью которых была осуществлена практическая радиотелеграфная радиосвязь. Такая связь происходила с помощью так называемой *азбуки Морзе* - системе

обозначений где каждой букве алфавита соответствует своя комбинация точек и тире. Радиопередатчики передавали короткие и длинные импульсы электромагнитных волн соответствующие длинным цепочкам точек и тире, которые были тождественны определенным словам и фразам. В электрической цепи радиоприемника, было специальное устройство – когерер менявшее свою электропроводимость под действием электромагнитных волн. Когерер управлял электромагнитной катушкой с подпружиненным якорем, который притягивался и отпускался в зависимости от частоты принимаемых электромагнитных волн. Пишущий узел, соединенный с якорем печатал на бумажной ленте цепочку точек и тире в точности совпадавшую с той, которая передавались радиопередатчиком.

Первые когереры представляли собой стеклянную трубку с металлическими или угольными опилками, в которых под действием электромагнитных волн проскакивали искры, электропроводность увеличивалась и появлялась возможность регистрации импульса электромагнитной волны. Еще одной конструкцией когерера была стеклянная трубочка со слегка окисленными железными электродами под напряжением и каплей ртути между ними. При воздействии радиоволн пленка окисла на электродах начинала прожигаться с определенной частотой, электрическое сопротивление в цепи резко падало, и происходила регистрация радиопередачи. Такой когерер впервые использовал Маркони для связи на кораблях итальянского военного морского флота в 1898 - 1899 году.

Однако частоты срабатывания первых радиопередающих устройств были невысоки, и это не позволяло передавать электромагнитные радиоволны с приемлемым качеством, соответствующим частоте звука человеческой речи. Однако быстрое развитие электротехники привело к появлению радиопередатчиков, где вместо искры стал использоваться переменный электрический ток и электрическая дуга. Такие передатчики могли работать уже на частотах до 50 000 герц, и человеческая речь с помощью радиоволн передавалась теперь достаточно хорошо. В скором времени появляются электронные генераторы, работающие сначала на вакуумных лампах, а затем на полупроводниках. Появляются компактные, миниатюрные и экономичные радиопередатчики, работающие в самом широком частотном диапазоне радиоволн и нашедшие применение в радиовещании, радиосвязи и радиолокации.

Принято считать, что все радиоволны находятся в диапазоне частот 3 кГц – 3000 гигагерц и подразделяются на поддиапазоны:

СДВ - сверхдлинные, частотой 0,03 ... 30 кГц и длиной волны 10... 1000000 км.

ДВ - длинные, частотой 30 ... 300 кГц, 1...10 км.

СВ - средние, частотой 300 ...3000 кГц, длиной волны 100 м...1 км.

КВ - короткие, частотой 3 ... 30 МГц, длиной волны 10...100 м

УКВ - ультракороткие:

...метровые, частотой 30 ... 300 МГц., длиной волны 10 ... 1 м.,

...дециметровые, частотой 300-3000 МГц., длиной волны 0,1...1м.,

...сантиметровые частотой 3-30 ГГц., длиной волны 10...1 см.,

ММВ - миллиметровые, частотой 30-300ГГц., длиной волны 10-1 мм.

СММВ – субмиллиметровые, частотой 300-3000 ГГц., длиной волны от 0,1...1 мм.

В зависимости от частот и длин радиоволн различна их проникающая способность, поэтому они распространяются в атмосфере по-разному, и все они имеют различные области применения.

Сверхдлинные радиоволны с частотой в пределах от 3 до 30 кГц и длиной волны 10—100 км способны проникать под землю и в воду, что позволяет использовать их для связи с подводными лодками и подземными сооружениями.

Радиоволны длинноволнового диапазона частотой 30 ... 300 кГц, и длиной волны 1...10 км хорошо обходят преграды и могут распространяться по поверхности земли на тысячи километров и способны даже обогнуть земной шар. Они применяются для радиотелеграфной связи, в радиовещании и дальней радионавигации.

Радиоволны средневолнового диапазона частотой 300 ...3000 кГц, длиной волны от 100 до 1000 метров хуже огибают неровности земной поверхности и поглощаются ею сильнее, чем длинноволновые, однако могут отражаться от ионосферы, особенно хорошо ночью, и также способны огибать земную поверхность. Этим объясняется то, что этот диапазон является наиболее распространенным для радиовещания.

Короткие радиоволны частотой 3 ... 30 МГц, длиной волны 10...100 м. Еще сильнее поглощаются поверхностью Земли и распространяются лишь по прямой и на небольшие расстояния вследствие поглощения их энергии поверхностью планеты. Они также отражаются от ионосферы, причем независимо от времени суток и могут огибать планету, потребляя энергии для своей генерации намного меньше, чем для волн с меньшей частотой. Используются в основном для радиовещания и радиосвязи.

Ультракороткие волны метрового, дециметрового и сантиметрового диапазонов частотами от 30МГц до 30 ГГц могут распространяться главным образом только по прямой и полностью поглощаются любыми неровностями земной поверхности. Зато для этого диапазона возможно создание узконаправленных антенн, что позволяет концентрировать мощность излучения. Еще одной особенностью УКВ является то, что они не отражаются от высоких ионизированных слоев атмосферы Земли, но способны отражаться от самого низкого слоя – тропосферы. Эта особенность позволяет организовать так называемую загоризонтную тропосферную радиосвязь, которая позволяет обеспечивать передачу информации одновременно по нескольким каналам.

УКВ длина которых колеблется от 10 до 1 м., а частота находится в пределах от 30 до 300 МГц, образуют так называемый метровый диапазон, обычно используемый для радиосвязи, телевидения и радионавигации на относительно небольших расстояниях. Радиоволны длиной волн в интервале от 100 до 10 см. и частотой 300—3000 МГц., называется дециметровыми, и используются в радиосвязи, радиолокации, телевидении, спутниковой и тропосферной радиосвязи, в сотовых телефонах. Ультракороткие радиоволны длиной от 10 - 1 см. и частотой от 3 - 30 ГГц. лежат в сантиметровом диапазоне, и используются в спутниковых системах связи и телевидения, в тропосферной радиосвязи и в радиолокации, для радиоуправления различными радиоуправляемыми моделями и дронами, в микроволновых печах, а также в беспроводных компьютерных сетях Wi – Fi.

Радиоволны миллиметрового диапазона длиной 10-1 мм, и частотой 30-300 ГГц., до недавнего времени не имели широкой сферы применения, поскольку не было достаточно развитой базы электронных компонентов для создания соответствующей приемопередающей радиоаппаратуры. За последние десять лет в этой области удалось достичь значительных успехов, и диапазон стал активно использоваться для узконаправленной радиосвязи на небольших расстояниях, радиолокации, радиоастрономии и медицине. Ожидается переход на этот частотный диапазон передачи информации в новых поколениях сетей Wi – Fi.

Субмиллиметровые радиоволны, длиной волны от 0...0,1 мм и частотой 3000-300 ГГц., являются промежуточным звеном между инфракрасным и сверхвысокочастотным электромагнитным излучением. В настоящее время этот диапазон в целях передачи информации не задействован, но признан перспективным и ведутся масштабные исследовательские работы в этом направлении. Такие радиоволны малых энергий безопасны для человека, поэтому их широко используют в медицине при сканировании органов человека, а также для контроля багажа в аэропортах.

Любая передача информации с помощью радиоволн сегодня происходит с помощью быстрого изменения одного, или одновременно нескольких параметров электромагнитного излучения – частоты, амплитуды и фазы колебаний. Такое изменение называется модуляцией. Понять разницу в трех видах модуляции электромагнитных волн можно очень просто, если мысленно представить себе три длинных скамьи, на которых цепочки людей разных по росту сидят тоже по-разному. На первой скамье люди

одинакового роста сидят на расстоянии друг от друга изменяемом волнообразно, причем такие волны разной длины – это аналог частотной модуляции. На второй скамье, люди сидят на одинаковом расстоянии друг от друга, но их рост меняется тоже волнообразно, причем самые высокие люди в каждой волне отличаются друг от друга по росту – это аналог амплитудной модуляции. И, наконец, на третьей скамье люди характер волнообразной рассадки, как по росту, так и по расстоянию между ними носит прерывистый характер – пик или окончание одной волны людей может сразу, безо всякого плавного перехода сменяться пиком или окончанием другой волны – это аналог фазовой модуляции.

Если же говорить строго, то частотная модуляция заключается в изменении скорости электромагнитных колебаний в течение времени одного полного периода. Используется частотная модуляция для радиовещания в УКВ диапазоне, передачи звука в телевизионном вещании. Амплитудная модуляция осуществляется изменением величины размаха одного колебания. Такая модуляция используется главным образом в радиовещании на длинных, средних и коротких волнах и телевизионном вещании. Фазовая модуляция происходит путем изменения начального момента времени каждого отдельного колебания по всей длительности электромагнитной волны и очень близка к частотной, однако в отличие от последней используется главным образом для радиосвязи в цифровом радиовещании и телевидении.

Для радиоуправления большинством моделей и игрушек используются приемопередающие радиоустройства, как с частотной, так и с амплитудной модуляцией радиоволн в диапазоне 35,40 и 70 МГц а также 2,4 и 5,8 ГГц. Аппаратура, работающая на частотной модуляции, в основном, используется тогда, когда расстояние от передатчика до модели невелико и, как правило, дешевле работающей на амплитудной модуляции, правда не намного. Радиоуправляемые модели с использованием амплитудной модуляции являются более помехозащищенными и применяются для управления на дальних расстояниях.

3.3 «Вертолет с автоматическим управлением» (тема – *Автоматические системы управления*)



Фото 38

Появление летающих игрушечных вертолетов оказалось возможным благодаря тому, что не так давно удалось создать достаточно ёмкие и легкие литий ионные аккумуляторы, а также миниатюрные электрические моторчики, тоже очень легкие и достаточно мощные, на основе неодимовых магнитов.

От большинства авиамоделей, управляемых дистанционно с помощью радиоволнового или инфракрасного пульта, показанный на фото игрушечный вертолет, не требует для управления своим полетом никакого дополнительного устройства кроме руки владельца. Включив тумблер питания и, дав раскрутиться вертолетным лопастям, следует отпустить игрушку в свободный полет, и она поднимется вертикально в воздух на метр – полтора. Затем, безо всякой команды извне, начнет плавно пускаться, и опустившись на расстояние около 10-15 сантиметров от любой горизонтальной поверхности, это может быть и пол и стол или Ваша ладонь, вертолет взлетит вновь на метр – полтора. Так циклы подъема и спуска могут продолжаться около 10 минут, пока не иссякнет заряд в аккумуляторе.

Этот непривычный, автоматический способ управления движением вертолета устроен достаточно просто – в днище вертолета находится инфракрасный датчик расстояния. Такой датчик состоит из светодиода, генерирующего электромагнитное излучение с максимумом длины волны в области 940 нм, и приемник отраженного излучения в виде фотодиода такой же длины волны с несложной электронной схемой управления. Игрушка, с удивительным на первый взгляд характером полета, является наглядным примером автоматического устройства с положительной обратной связью, о которой будет рассказано ниже.

Слово «автомат» происходит от греческого «самодействующий», а первыми автоматическими устройствами, которые были придуманы человеком, можно считать древние силки, капканы и другие ловушки, используемые при охоте на птиц и зверей. Эти подчас весьма примитивные устройства, тем не менее, были настоящими автоматами. Искусно установленные и замаскированные, они, безо всякого дальнейшего участия охотника, при воздействии дичи на тот или иной спусковой механизм срабатывали автоматически и отлично выполняли свои функции.

Описание более совершенных автоматических устройств можно найти в трудах античных ученых Герона Александрийского и Витрувия. К этим устройствам можно отнести, например, храмовый автомат древнего Египта относящийся примерно ко 2-му веку до нашей эры, который при опускании в специальную щель медной монетки наливал желающему немного воды для омовения. Другой пример, автоматические двери в том же храме – они «сами по себе открывались при возжигании огня в жертвенном очаге. В скрытом под жертвенником металлическом шаре огонь нагревал воздух, который, расширяясь, выталкивал воду через сифон в огромную бадью. Последняя на цепях была подвешена в достаточно сложной системе шкивов и противовесов, и открывала двери, действуя на них собственным весом. После угасания огня, воздух в шаре охлаждался и уменьшался в объеме, вода засасывалась в сифон, а опустевшая бадья поднималась наверх, и двери торжественно закрывались.

Эти и подобные им автоматические устройства работали каждый по своему четко фиксированному алгоритму. Циклы работы автоматов могли только повторяться, а последовательность выполнения операций внутри них не зависела ни от работы внутренних частей механизма, ни от внешних воздействий. В современной технике подобные механизмы называются автоматическими устройствами с *открытой связью*. Другие автоматические устройства с *обратной связью* отличаются тем, что они способны изменять длительность, последовательность и общую совокупность выполняемых автоматически операций в зависимости от работы собственных частей и с учетом внешних условий. Именно по такому алгоритму летает описанный выше игрушечный вертолет, отслеживающий свое расстояние до любой горизонтальной поверхности.

Первым автоматом с обратной связью, пожалуй, можно считать удивительные водяные часы, которые были созданы во втором веке до нашей эры древнегреческим ученым Ктесебием. В его часах вода, выливаясь тонкой струйкой из большого высокоподнятого резервуара, заставляла вращаться в цилиндр с делениями и цифрами указывающими на время суток, а затем наполняла другой сосуд. В этот, изначально пустой, сосуд была опущена до самого его дна одна половина изогнутой трубки сифона. По мере наполнения сосуда трубка заполнялась водой, и когда уровень воды поднимался до верхнего изгиба сифона и полностью заполнял его, по закону сообщающихся сосудов, вся вода из сосуда сливалась через вторую половину трубки сифона в третью емкость. При этом сливающаяся вода вращала лопасти небольшой турбинки, которая через набор шестеренок заставляла двигаться руку фигурки амура, и он пальчиком показывал, что наступил следующий день. Затем срабатывала заслонка в днище уже третьего сосуда, он опустошался, и механизм снова был готов к работе.

Любые водяные часы - и самые простые и весьма хитроумные, имеют общее название - *клепсидры*, а принцип автоматики придуманный Ктесебием, исправно работает в сантехническом оснащении наших современных домов. Удивительно, но в античном мире практически все автоматические механизмы использовались лишь в культовых целях, для развлечения или просто как игрушки. Впрочем и средние века, а затем и в эпоху возрождения более совершенные механические автоматы, такие как куклы, движущиеся самым замысловатым образом и даже небольшие механические кукольные театры, хитроумные музыкальные шкатулки, сложнейшие башенные часы с театрализованным показом времени, продолжали служить лишь увеселительным и развлекательным целям.

Бурный всплеск в развитии и производстве автоматов происходит с изобретением парового двигателя и началом промышленной революции в конце 18-го и начале 19-го веков. Тогда во множестве стали появляться сначала небольшие производственные мануфактуры, а затем и крупные промышленные предприятия, техническое оснащение которых базировалось на оборудовании с той или иной степенью автоматизации. Практически одновременно началось массовая разработка и внедрение электрических

автоматических устройств, как с прямой, так и с обратной связью, были созданы первые механические вычислительные машины.

Среди остроумных автоматических устройств того времени можно отметить изобретенный в 1784 году английским механиком Джеймсом Уатом центробежный регулятор скорости вращения вала паровой машины, предназначенный для поддержания постоянства частоты вращения. Он был устроен таким образом: на вертикальной оси, соединенной с помощью шестеренок с главной вращающейся осью парового двигателя, на шарнирных рычагах симметрично крепились два подпружиненных груза. Шарнирные рычаги, будучи поджатыми пружинами, удерживали в закрытом состоянии клапан сброса давления в паровом котле. При превышении определенной скорости вращения, центробежная сила инерции, действующая на вращающиеся грузы, преодолевала силу упругости пружин, и грузы на шарнирных рычагах удалялись от оси, одновременно открывая клапан сброса давления пара. При снижении давления пара скорость вращения уменьшалась, грузы под действием возвращались на исходную позицию, клапан закрывался, и давление опять возрастало. Цикл автоматической регулировки повторялся.

Не менее интересным были способы регулировки температуры в инкубаторах яиц домашней птицы без использования электричества, которыми пользовались в конце 19 века. Источником тепла в таких инкубаторах служила обычная керосиновая лампа, расположенная в нижней его части. В качестве автоматического регулятора служила герметичная чечевицеобразная капсула, спаянная из медной фольги и заполненная смесью эфиров, закипавших при температуре в диапазоне 32 – 40°C. Необходимый для поддержания необходимой температуры горячий воздух от лампы проходил сквозь инкубатор по тонкостенной железной трубе, верхняя часть которой прикрывалась легкой крышкой на рычаге с шарниром, упиравшимся в капсулу. Когда температура в инкубаторе превышала нужную для инкубации, эфир в капсуле закипал, давление его паров заставляло капсулу расширяться, и связанный с ней рычаг приоткрывал крышку. Сквозь открывшуюся трубу горячий воздух проходил сквозь инкубатор не нагревая его, капсула охлаждалась и уменьшалась в объеме, крышка закрывалась цикл повторялся.

Наиболее глубокое внедрение принципы автоматизации нашли не в механике, а сначала в электротехнике, и затем в электронике. Первоначально основным элементом автоматики в любых электротехнических устройствах было электрическое *реле* – переключатель, который замыкает или размыкает одну электрическую цепь в зависимости от наличия тока в другой электрической цепи. Первое электрическое реле было изобретено в 1831 году американским ученым и электротехником Джоозефом Генри. Оно представляло собой электромагнитную катушку со стальным подпружиненным сердечником, который, при наличии тока в катушке, замыкал контакты внешней электрической цепи. Аналогичные реле широко распространены и по сей день в электрических цепях, по которым протекают электрические токи значительной величины.

Следующим значительным шагом в развитии автоматизации электрических устройств стало изобретение в 1880 Томасом Эдисоном лампового *диода* – тогда его называли тогда «детектором». Сегодня это один из основных, элементов электрических цепей, главной особенностью которого является способность пропускать ток только в одном направлении и запирает его в другом. Немногом позже, в 1899 году немецкому физик Карлу Брауну удается создать твердотельный диод. В 1907 году, американский изобретатель Ли де Форест получает патент еще на один принципиально новый электронный прибор - ламповый *триод*. Его прибор представлял собой заполненную нейтральным газом стеклянную колбу, (позднее её стали вакуумировать), в которую были введены три электрода. Если пропускать небольшой электрический ток между двумя соединенными между собой тонкой металлической сеткой, то из сетки вырывалось облако электронов, которое давало возможность пропускания гораздо большего тока между и третьим электродом и одним из двух первых электродов. Триод позволял не только

пропускать постоянный или переменный только в одном направлении, но еще и усиливать его.

Конструкции ламповых триодов, совершенствовались и вплоть до конца 40-х годов прошлого века и они, наряду с твердотельными и лаповыми диодами, составляли основу всех электронных автоматических устройств того времени. Однако в 1947 году американцам Уильяму Шокли, Джону Бардину и Уолтеру Брайтону удалось создать первый в мире полупроводниковый триод. Такие элементы электроники стали называть транзисторами, и за их изобретение в 1956 всем трем авторам была присуждена Нобелевская премия по физике. С изобретением первого транзистора было положено начало новому этапу развития электронной автоматики использующей полупроводниковые приборы на базе кристаллических кремния и германия. Размеры новых электронных приборов стали намного меньше ламповых, что позволило создавать миниатюрные и надежные электронные устройства и привело к настоящей революции в электронно-вычислительной технике. Существующие до этого ЭВМ на базе электронных ламп и реле были крайне громоздки и медленны, неудобны и дороги, что неизбежно сдерживало развитие сферы их применения, а это в свою очередь, не давало перспектив для совершенствования языков программирования. Появление транзисторов сделало возможным достигнуть небывалых до этого скоростей вычислений и создать достаточно большую оперативную память, и это открыло дорогу развитию языков программирования высокого уровня.

Во второй половине прошлого века, с появлением нанотехнологий, транзисторы, диоды, конденсаторы, сопротивления и все остальные компоненты электроники стали сверхминиатюрными, их удалось объединить в интегральные схемы, и сегодня мы работаем уже с настольными и карманными ЭВМ. Алгоритмы работы их программного обеспечения стали изоощренными, появились языки программирования узконаправленные и универсальные, созданы глобальные информационные сети, однако основой всего этого, пожалуй, все-таки можно считать старые, добрые алгоритмы открытой и обратной связи.

3.4 «Жук на солнечной батарее» (тема - Фотозлектричество)

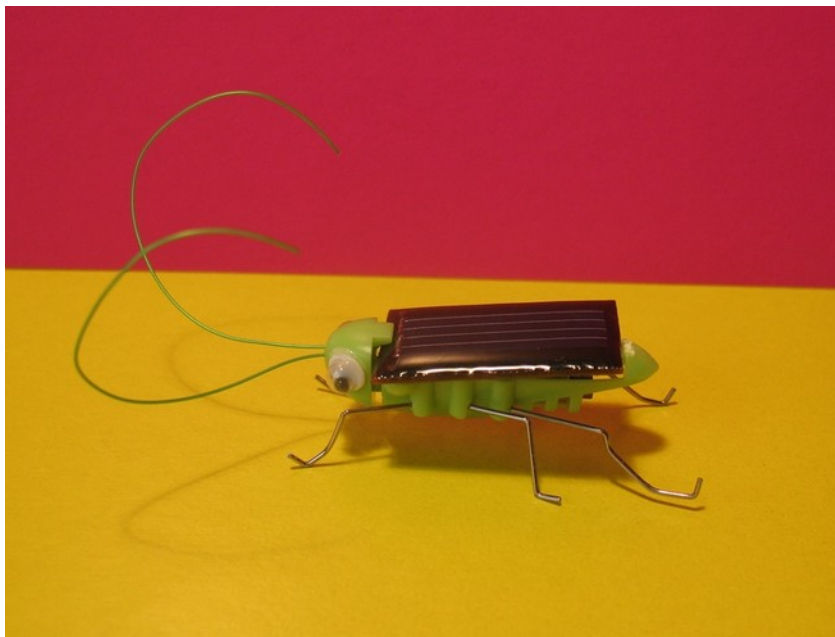


Фото 39

Эта миниатюрная игрушка имеет размер около трех сантиметров без усов. Она, не имеющая колес или иных, традиционных движителей забавно перемещается по ровной и хорошо освещенной поверхности на тонких подпружиненных проволоочных лапках. Такой способ перемещения ей обеспечивает микро электромоторчик с грузиком на валу, который смещен на миллиметр от оси вращения. Когда грузик вращается, создается центробежная сила инерции, действующая через лапки на поверхность стола и сила реакции, отталкивающая лапки от стола. Передние лапки жука немного короче задних, поэтому сумма сил реакции, действующей на две пары лапок, создает результирующий вектор силы направленный вперед и вверх. Энергию для вращения электромоторчика обеспечивает небольшая солнечная батарейка на спине жука.

Предпосылки для создания солнечных батарей появились еще в первой половине XIX века с открытием Александром Беккерелем в 1839 году явления фотоэффекта. Тогда, экспериментируя с химическими источниками тока, он заметил, что если в сосуде с двумя различными электролитами, разделенными полупроницаемой перегородкой, поместить два электрода - золотой и платиновый, то вырабатываемый ими электрический ток на свету больше, чем в темноте. Тогда же было установлено, что сила тока возрастает с изменением спектра падающего света от красного к зеленому и затем понижается. Однако КПД использования солнечной энергии в химическом источнике тока с дополнительным освещением не превысил 1 %, и дальнейшего развития это направление в электротехнике тогда не получило.

После теоретического объяснения фотоэффекта Альбертом Эйнштейном в 1905 году была доказана возможность создания фотоэлектрических источников электроэнергии с достаточно большим КПД, однако технического прогресса в этом направлении не случилось на протяжении почти полувека. Коренной перелом произошел лишь в 1954 году, после того как были изобретены фотоэлектрические ячейки на основе кремния с КПД около 4%. До этого работа шла над ячейками на основе селена у которых КПД был менее 3%.

Принцип работы кремниевых фотоэлементов базируется на способности кремния образовывать две модификации при его обогащении небольшим количеством разных микроэлементов. В одной из них, например, с добавками мышьяка, атомы кремния на

внешних электронных оболочках имеют несколько электронов со слабой энергией связи, и в таком материале может существовать избыток свободных электронов. Эта разновидность называется N полупроводником, символ «N» обязан своим происхождением слову «negative» - отрицательный, что соответствует современным физическим представлениям о том, что избыток электронов приводит к образованию отрицательного электрического заряда. В другой разновидности, например с добавками индия, у всех электронов энергия связи высока, и на внешней орбите существуют свободные места для «чужих» электронов. Такая разновидность называется P полупроводником, и недостаток электронов отвечает за образование положительного заряда, а символ «P» обязан своим происхождением слову «positive». При определенных условиях электроны из одного типа полупроводника способны переходить в полупроводник другого типа и такой переход принято называть *p-n полупроводниковым переходом*, и именно он обуславливает возможность создания большинства современных солнечных батарей.

Сегодня существует несколько типов солнечных батарей с различными коэффициентами полезного действия, в которых используется модификации кремния различной степени кристаллизации. Самый высокий КПД, до 22% достигнут у самых дорогих солнечных батарей на основе монокристаллического кремния. Они считаются самыми долговечными, качественными, и имеют внешний вид синего цвета, с более темными тонами по сравнению с остальными. Солнечные батареи с поликристаллическим кремнием изготавливаются не из единого кристалла, а из множества более мелких, их стоимость немного ниже. Они могут обеспечить КПД до 18%, их цвет немного светлее и чуть ярче. Считается, что такие батареи работают достаточно хорошо при рассеянном свете. Аморфный кремний используется в солнечных батареях в виде тонких пленок, их цвет сероватого оттенка, КПД этих батарей пока невысок, до 10%. Хотя сегодня около 83% всех используемых солнечных батарей являются монокристаллическими, специалисты прогнозируют большие перспективы именно пленочным солнечным батареям на основе аморфного кремния.

4. Оптика

4.1 «Лазерный тир» (тема - Электромагнитная природа света)



Фото 40

Сегодня уже трудно удивить игрушкой, в которой используется лазер и, тем не менее, яркий цветной луч всегда вызывает интерес. Примером подобных игрушек является комплект лазерного тира, состоящий из двух частей. Это, во-первых, пластиковый пистолет с батарейками в рукоятке, красным лазером, электронной управляющей схемой и небольшим динамиком в стволе. Во-вторых, мишень с фотоэлементом, электронной схемой, динамиком и батарейками. Играющий должен, прицелиться с расстояния в несколько метров в центр мишени и нажать на спусковой крючок пистолета, после чего включится электронная управляющая схема, которая заставит лазер выпустить короткий световой импульс, при этом востренный динамик издаст звук, имитирующий звук выстрела. Если рука твердая и прицел верный, световой луч попадет точно на фотоэлемент в центре мишени, который передаст электрический импульс в электронную схему, а она включит победную музыку и мигающие цветные лампочки, сигнализирующие об удачном выстреле. Простая по игровому замыслу игрушка в конструктивном исполнении представляет собой набор высокотехнологичных устройств и элементов. Конечно, прежде всего, интересен лазерный источник света, излучающий тонкий, яркий луч красного цвета.

Загадки игры лучей света и мысли о природе света были интересны людям всегда, так, например выдающийся ученый античности Аристотель предполагал что «...свет есть нечто исходящее из глаз...». Однако приблизиться к достаточно полному пониманию физической сущности этого явления мы смогли лишь к XVIII веку, а первым значительным шагом на этом пути стало практически одновременное открытие в XIV голландским ученым Виллебродом Синеллиусом и французским мыслителем Рене Декартом законов преломления световых лучей.

В 1665 году выходит в свет трактат Франческо Гримальди «Физико-математический трактат о свете, цветах и радуге» где он описывал наблюдаемые им явление *дифракции* - способности света изменять прямолинейную траекторию вблизи края препятствия и *интерференции* - уменьшении или увеличении интенсивности и образование узлов плотности отраженного света при наложении двух световых конусов.

Там же он высказывается о схожести наблюдаемых световых эффектов с поведением волнами жидкости на ее поверхности.

Христиан Гюйгенс предлагает в 1690 году идею волновой природы света. Излагая ее в «Трактате о свете» в своих рассуждениях о законах геометрической оптики он предлагает рассматривать свет как распространение волн некой упругой среды - эфира.

Исаак Ньютон экспериментируя со светом, понимая его как движение очень малых частиц материи – корпускул, он объяснил явления дифракции и интерференции взаимодействием корпускул. Считается, что своими исследованиями световых явлений, которые длились, начиная с 1664 года почти 40 лет, он заложил основы современного учения о свете. Нельзя не отметить точку зрения Ньютона о своеобразной возможности сочетания корпускулярной и волновой теории света. На страницах знаменитого труда «Оптика» он говорит о том, что свет есть « не что иное, как давление или движение, распространяемое через эфир». Широко распространенное сегодня в науке и технике слово *спектр*, основным значением которого является «многообразие цветов», было введено в научный обиход Исааком Ньютоном в ходе изучения распределения цветов в радужной гамме, возникающей при разложении луча солнечного света, проходящего сквозь стеклянную призму. И хотя радуго знали еще в древнем Риме, первую теорию, объясняющую линейчатость спектральных линий предложил также Ньютон. Свои идеи он предаёт широкой огласке далеко не сразу, «Оптика» будет опубликована спустя лишь 35 лет, после того как им были проведены многочисленные оптические опыты по преломлению, отражению и разложению солнечного света. Благодаря многочисленным опытам Ньютон создает телескоп – *рефлектор*, фокусирующий свет с помощью зеркала. Его телескоп, позволил получать более четкие изображения по сравнению с телескопами – *рефракторами*, в которых свет фокусировался системой линз, и которые ранее были изобретены Галилео Галилеем .

Следующим значительным этапом на пути развития учения о свете стало исследование Огюстеном Френелем интерференции *поляризованного света*. Такой свет отличается от обычного тем, что если поперечные колебания волн обычного света проявляются во всех направлениях с одинаковой интенсивностью, то поляризованный свет имеет четкую привилегированность таких направлений. Оказалось, что два луча света, поляризованные в параллельных плоскостях всегда образуют интерференционную картинку, а поляризованные перпендикулярно – никогда. В дальнейшем, благодаря этим работам Френель предложил свою механистическую теорию, в которой свет представлял собой поперечные волны эфира, пронизывающего все материальные тела.

В 1848 году Майкл Фарадей обнаружил способность магнитного поля взаимодействовать с поляризованным светом, поворачивая плоскость его поляризации. А в 1865 году Джеймс Максвелл благодаря разработанной им теории электромагнетизма, смог вычислить скорость распространения электромагнитных волн, и оказалась что она равна уже измеренной тогда скорости света. Учитывая эффект обнаруженный Фарадеем и совпадение скоростей распространения электромагнитных волн и света, Максвелл сделал вывод о том, что они имеют одну и ту же физическую природу, а различие заключатся лишь в длинах волн. Генрих Герц (1857 – 1894 г.г.) экспериментально подтверждает существование электромагнитных волн, и то, что скорость их распространения равна скорости света. Волновая природа света принимается как неоспоримый факт.

Последующее развитие учения о свете происходило в основном благодаря углубленным и детальным исследованиям явлений дифракции и интерференции. В 1800 году Вильям Гершель открывает ультрафиолетовые излучение, а в 1801 году Иоганн Риттер инфракрасный свет. Сегодня мы знаем, что и то и другое является электромагнитным излучением различной частоты. Видимый свет это тоже электромагнитное излучение, соответствующее относительно узкому диапазону полного спектра электромагнитных колебаний. Ниже показаны длины волн электромагнитного излучения и соответствующие им видимые нами цвета.

Так свет с длиной волны:

$3,8 \cdot 10^{-7}$ м. и до $4,4 \cdot 10^{-7}$ м. – фиолетовый цвет;

$4,4 \cdot 10^{-7}$ м. $4,85 \cdot 10^{-7}$ м. – синий;

$4,85 \cdot 10^{-7}$ м. $5 \cdot 10^{-7}$ м. – голубой;

$5 \cdot 10^{-7}$ м. $5,65 \cdot 10^{-7}$ м. – зеленый;

$5,65 \cdot 10^{-7}$ м. $5,9 \cdot 10^{-7}$ м. – желтый;

$5,9 \cdot 10^{-7}$ м. $6,25 \cdot 10^{-7}$ м. – оранжевый;

$6,25 \cdot 10^{-7}$ м. $7,4 \cdot 10^{-7}$ м. – красный.

Электромагнитное излучение с длиной волны меньше чем у фиолетового света ($< 3,8 \cdot 10^{-7}$ метра) наши глаза не воспринимают - это область ультрафиолета с длинами волн порядка ($10^{-7} - 10^{-9}$ м.), за ними следуют рентгеновские лучи ($10^{-9} - 10^{-12}$ м.), гамма излучение ($10^{-12} - 10^{-14}$ м.) и космические лучи ($< 10^{-14}$ м.). Электромагнитное излучение с длиной волны больше чем у красного цвета $> 7,4 \cdot 10^{-7}$ м. наши глаза также не воспринимают, но это уже области инфракрасного излучения ($10^{-3} - 10^{-6}$ м.). Сверхвысокочастотные волны используются сегодня в радиолокации и СВЧ печах ($10^{-2} - 10^{-3}$ м.), УКВ, телевидении и радиовещании ($10^{-2} - 10^6$ м.).

В конце XIX века проводились многочисленные опыты с лампами, излучающими свет за счет электрического разряда в различных газах. В ходе экспериментов с такими газоразрядными трубками были выявлены и изучены особенности спектра излучаемого ими света по сравнению со светом, который излучают твердые нагретые тела. Оказалось, что электрический разряд в стеклянной трубке, заполненной водородом, неоном, или парами ртути дает прерывистый, линейчатый спектр, а не сплошной как от твердых нагретых тел. В дальнейшем выяснилось, что отдельные атомы любого химического элемента в нагретом состоянии излучают свет со своим, уникальным набором спектральных линий. В 1890 году Йоханнес Ридберг (1854–1919 г.г.) находит математическую формулу, описывающую длины волн полного спектра электромагнитного излучения водорода, включая ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Согласно этой формуле длина волны излучения подчиняется очень простой

зависимости: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$ при $n < k$, где n и k – натуральные числа, R – численная

постоянная найденная статистически и носящая название константы Ридберга. Согласно этой формуле при $n = 1$, изменение значения k от 2 до ∞ дает серию линий ультрафиолетового спектра (так называемая серия линий Лаймана). При $n = 2$ изменение k от 3 до ∞ определяет серию линий видимого спектра (серия Бальмера). При $n = 3$ изменение k от 4 до ∞ соответствует серии линий инфракрасного спектра (серия Пашена).

Это открытие было сделано исключительно эмпирически, и никакому теоретическому объяснению тогда не поддавалось. Однако спустя не многим более 20-ти лет, оно нашло свое объяснение и стало ключевым моментом в созданной Нилсом Бором модели строения атома водорода, так возникла новая наука – квантовая механика.

Тем временем, в конце XIX века, при полном торжестве волновой теории света, новые экспериментальные данные привели к так называемой «*ультрафиолетовой катастрофе*». Этот термин означает не катастрофу в буквальном смысле слова, а лишь волновой парадокс. Суть парадокса в следующем: согласно волновой теории мощность электромагнитного излучения по мере сокращения длины волны должна увеличиваться, стремясь к бесконечности. Однако многочисленные эксперименты по исследованию спектра излучения так называемых *черных тел* (тел, находящихся в тепловом равновесии с окружающей средой и поглощающих все падающее на них электромагнитное излучение) эту закономерность опровергали. Необъяснимым к этому времени оказалось также и открытое Герцем в 1887 году явление *фотоэффекта* – испускание электронов некоторыми материалами при падении на их поверхность яркого света.

Решить проблему излучения абсолютно черного тела удалось в 1900 Макс Планку предположившему, что свет излучается не сплошным потоком, а порциями – *квантами*. Он также определил зависимость энергии таких квантов от частоты света, которая определяется очень простой формулой: $E_o = h\nu$, где ν - частота колебаний световой волны, h – некая численная константа, позднее названная постоянной Планка. Поскольку частота электромагнитного излучения ν связана со скоростью света C и длиной волны λ

соотношением $\nu = \frac{C}{\lambda}$, энергия кванта света, предложенного Планком, может быть

записана также как $E_o = h \frac{C}{\lambda}$. Абсолютное значение постоянной Планка определяемое

экспериментально многократно уточнялось и сегодня его принято считать равным $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Гипотеза Планка, в которой свет может представлять собой как квантованную волну, так и поток частиц, или одновременно то и другое, в зависимости от внешних условий, оказалась настолько плодотворной, что помогла в 1905 году Альберту Эйнштейну объяснить явление фотоэффекта. Он предположил, что преодоление сил, удерживающих электрон внутри атома металла, оказывается возможным за счет добавочной энергии приносимой ему квантом света.

Используя идею квантования уровней энергии электрона Нильс Бор в 1913 году, построил новую модель строения атома водорода. Согласно теории Бора любой атом может иметь несколько энергетических состояний, которые не могут плавно изменяться, а имеют ступенчатую структуру со строго определенными значениями – стационарными энергетическими уровнями. Находясь в любом из таких стационарных состояний, атом не излучает энергии. Изменяться стационарные состояния могут лишь при условии поглощения или выделения кванта энергии. Если энергетический уровень атома уменьшается, то разница энергий высвобождается в виде электромагнитного излучения, излучается квант света – *фотон*. Разница в энергии описывается формулой $E_2 - E_1 = h\nu$, где E_2 и E_1 – энергии атома после изменения энергии и до этого; h – постоянная Планка; ν – частота излучения. При поглощении фотона энергетический уровень атома увеличивается, а сам фотон исчезает.

В модели атома водорода, предложенной Бором, энергетический уровень атома определяется главным образом энергией электрона, который вращается вокруг ядра состоящего из одного протона. При этом энергия электрона зависит от близости к ядру орбиты его вращения. Орбит может быть сколь угодно много, но все они *квантованы* – электрон, находящийся на любой из них должен иметь строго определенную энергию. Зависимость этой энергии от орбиты электрона Бор определил формулой: $m v r_n = n h$, где m — масса электрона, v — орбитальная скорость его движения, r_n - радиус n -й орбиты, n – номер орбиты по степени удаления от ядра, h – постоянная Планка. Число n , называется главным квантовым числом и может принимать любое целочисленное значение от 1 до бесконечности $n=1,2,3,\dots$ При $n=1$ электрон находится на ближайшей к ядру атома орбите, его энергия вращения максимальна и орбитальная скорость составляет значение $v \approx \frac{C}{137}$

. Такое состояние атома водорода принято называть основным. На удаленных орбитах $n=2, 3, 4,\dots$ электрон обладает большей энергией, скорость его увеличивается пропорционально номеру орбиты, атомы с электронами на таких орбитах считаются возбужденными.

Таким образом, Бором была предложена теория, в основе которой лежала идея стационарных энергетических состояний атома и которая описывала новый механизм излучения, как фотонов света, так и электромагнитного излучения в целом – была создана *первая редакция квантовой механики*. Однако эта теория оказалась неприменимой к сложным атомам, в составе которых число электронов намного больше чем у водорода.

Следующим этапом в становлении квантовой механики стало выдвижение Луи де Бройлем (1892 – 1987 г.г.) в 1923 году идеи о волновой природе не только квантов

электромагнитного излучения, но и любых частиц материи, в частности электронов. Де Бройль предложил математическую формулировку этой идеи, в которой было описано эквивалентное соотношение между длиной волны, массой и скоростью. В конце 1924 года Вольфганг Паули (1900 – 1958 г.г.) формулирует свой знаменитый «*принцип запрета*» - правило распределения электронов по оболочкам, позволяющее построить теоретическую модель электронных оболочек атома и сыгравшее принципиальную роль в становлении новой квантовой механики. Примерно в это же время, Вернер Гейзенберг, отказавшись от образного представления о вращающихся вокруг ядра электронах и исходя только из поддающихся наблюдению и реальной оценке параметров атомного микромира, разрабатывает табличный метод расчета энергетических уровней электронов. Гейзенберг продолжая развивать этот метод и, работая вместе с Максом Борном и Паскуальем Иорданом, в 1925 году публикуют принципиально новый вариант квантовой теории, получивший название *матричной механики*. Этот вариант квантовой механики поднял идеи строения атома Бора на новый уровень, решив проблему математического описания перехода электронов между любыми энергетическими уровнями. Главным недостатком матричной механики было отсутствие даже намека, на какую либо наглядность физического содержания.

Этот недостаток в определенной степени удалось в 1926 году устранить Эрвину Шредингеру, автору *волновой квантовой механики*. Эта механика, используя дифференциальные уравнения вместо матричных вычислений, смогла описать квантовый мир в терминах близких к терминам классической физики и оказалась не такой абстрактной как механика Гейзенберга. В основе механики Шредингера лежит понятие волновой функции, которая хотя и не является наблюдаемой величиной, но с помощью математики позволяет описать форму волны в данный момент времени. Так, например, для электрона волновая функция Шредингера показывает, насколько велика плотность электрического заряда в определенный момент времени в определенной точке пространства. При этом сам электрон в представлении Шредингера ни в коей мере не может быть частицей, он представляет собой некий трехмерный волновой пакет. Грубую одномерную аналогию такого пакета можно представить себе в виде отрезка волны, пущенной ударом руки по натянутой веревке.

Матричная формулировка квантовой механики Гейзенберга и волновая Шредингера математически эквивалентны – результаты вычислений одних и тех же характеристик атомного микромира выполненные по разным методикам одинаковы. Однако физической интерпретации - образного понимания строения микромира у квантовой механики в виде близком к завершению на данном этапе так и не появляется.

В начале 1927 Гейзенберг открывает *принцип неопределенности*, который утверждает, что для квантовых частиц невозможно одновременно измерить координату и импульс или энергию и время, с точностью превышающей некоторое значение содержащее постоянную Планка. Математически этот принцип записывается как

$$\Delta p \Delta q \geq \frac{h}{2\pi}, \text{ где } \Delta p \text{ и } \Delta q - \text{ неточности в определении импульса и координаты; } h -$$

постоянная планка, $\pi = 3,14$. В том же году Нильс Бор открывает *принцип дополнительности*, согласно которому корпускулярные и волновые свойства являются дополняющими друг друга, но взаимоисключающими. В том или ином эксперименте может проявиться либо волновая, либо корпускулярная природа материальной частицы, но никак не одновременно, при этом полное квантово механическое описание такой частицы дает лишь сочетание волновых и корпускулярных свойств.

Оба эти принципа - неопределенностей Гейзенберга и дополнительности Бора лишь отчасти оказали помощь в физической интерпретации квантово механической картины мира. Наиболее распространенной является *Копенгагенская интерпретация*, в основе которой лежит утверждение Бора о том, что квантовая механика это вполне завершенная теория, а квантовая реальность определяется исключительно процессом

измерения или наблюдения. Более того, измерительные и наблюдательные приборы неразрывно связаны с исследуемым объектом, и разделить их невозможно. Это означает, что, например электрон не может существовать в данной точке реального мира, если не проведено измерение его параметров или простое наблюдение. Эту точку зрения поддерживал Гейзенберг, но подвергали сомнению Шредингер и Эйнштейн. Хотя Копенгагенская интерпретация сегодня является общепризнанной, полного согласия в понимании физического смысла квантовой механики в научном мире пока еще нет, и существуют более десятка ее различных интерпретаций.

В настоящее время квантовая механика является одной из самых плодотворных и подтвержденных экспериментально теорий в современной науке, ее основными областями применения являются ядерные исследования, атомная энергетика, химия, электроника и современные технологии, оперирующие на субатомном масштабе. Одним из важнейших практических достижений квантовой механики было изобретение лазеров – источников мощного электромагнитного излучения в очень узком диапазоне длин волн, так называемого монохроматического электромагнитного излучения.

То, что атомы в возбужденном состоянии могут испускать особый, так называемый индуцируемый свет под действием другого, падающего на них света предсказал еще в 1917 г. Альберт Эйнштейн. Сегодня мы знаем, что работа любого лазера основана на том, что находящийся в возбужденном состоянии атом, при взаимодействии с внешним, падающим на него фотоном, может вынужденно излучить еще один фотон и поскольку падающий фотон не исчезает, происходит усиление светового потока. Непременным условием для такого усиления необходимо равенство энергии излучаемого фотона и разности энергий всех уровней атома до и после вынужденного излучения. Чрезвычайно ценная особенность такого вынужденного излучения это, что оно является *когерентным* – полностью совпадает по частоте, фазе, плоскости поляризации с такими же характеристиками фотона, вызвавшего это излучение.

В 1955 году Николай Басов и Александр Прохоров разрабатывают *мазер* - квантовый генератор, излучающий когерентные электромагнитные волны. Активной средой этого генератора был аммиак. Первый квантовый генератор электромагнитного излучения в видимом диапазоне был построен в 1960 году Теодором Мейманом. В этом импульсном лазере атомы рубинового кристалла, приводились в возбужденное состояние действием фотонов, испускаемых лампой-вспышкой. Фотоны накапливались с помощью двух зеркал, (одно из которых было полупрозрачным) расположенных по торцам рубинового кристалла и через полупрозрачное зеркало излучали импульс когерентного светового потока с длиной волны 694,3 нанометров.

Сегодня созданы сотни самых разнообразных разных лазерных систем отличающихся химическим составом и агрегатным состоянием *рабочего тела*, так называется вещество, состоящее из возбуждаемых атомов излучающих когерентное излучение. В качестве рабочего тела используются не только твердое вещество, но и различные газовые смеси, жидкости и полупроводники. Существуют схемы лазеров с ядерной накачкой и рентгеновских лазеров. В твердотельных лазерах применяются различные диэлектрические кристаллы, особое стекло, прозрачная керамика и полимеры с активирующими добавками. Газовые лазеры в составе рабочей смеси используют обычно аргон, гелий, неон, углекислый газ, азот и пары металлов. Жидкостные лазеры работают на растворах красителей и жидкостях с ионами редкоземельных и других элементов. В полупроводниковых лазерах используется целая гамма полупроводниковых веществ, самым распространенным среди которых являются арсенид галлия. Способы подпитки рабочего тела внешней энергией, виды так называемой *накачки лазеров* также разнообразны. Оптическая накачка происходит с помощью импульсного или постоянного источника фотонов - специальных электрических ламп, газоразрядных трубок или других лазеров. Электрическая накачка осуществляется с помощью электрического разряда между электродами в газовых лазерах или электрического тока протекающего в

полупроводниковых лазерах. Существуют также газодинамические, химические, ядерные и другие способы подвода энергии к рабочему телу квантовых генераторов.

В настоящее время, с бурным развитием нанотехнологий, наиболее распространенными являются лазеры, использующие в качестве рабочего тела полупроводниковые материалы, занимающие промежуточное положение между металлами и диэлектриками. В лазерной технике наиболее распространенными полупроводниками являются арсенид галлия, арсенид галлия алюминия, фосфид галлия, нитрид галлия, нитрид галлия индия. Используются также разнообразные химические соединения кадмия, селена, серы, цинка, индия, фосфора, мышьяка и сурьмы.

Благодаря глубокой технологической отработке и относительной дешевизне полупроводниковые лазеры, кроме использования в научных исследованиях, сегодня нашли самое широкое применение в гражданской, военной и бытовой технике, примером чему являются самые разные лазерные игрушки.

Играя с котятами, для создания яркого убегающего светового пятнышка, часто используют лазерные указки красного, зеленого и голубого, синего и фиолетовых цветов. Современные, зеленые указки по цене несколько выше остальных благодаря непростой оптической системе, содержащей кристалл ванадата иттрия соединенный с кристаллом титанила-фосфоата калия, они излучают в диапазоне 510-530 нанометров и являются максимально близкими к чувствительности сетчатки глаза человека. Эта особенность лазерного излучения зеленого цвета требует особой осторожности в обращении с такими приборами – даже при небольшой мощности излучения, при прямом попадании на сетчатку глаз, чрезвычайно высока опасность ее повреждения. Синие указки появились на рынке не так давно и потому являются более редкими, обычно работают на длине волн от 473 до 405 нанометров, имеют мощность менее 500 мВт, а в качестве полупроводника используют нитриды Ga, Al или алюмоиттриевый гранат с добавками неодима. Их луч близок к ультрафиолетовому свету, он интересен тем что, падая на некоторые предметы, может вызывать флюоресценцию – послесвечение поверхности этих предметов. Однако чаще всего используются указки на основе красного лазерного диода, излучающего на длине волны 634-670 нанометров. В качестве полупроводника у этих лазеров используется химическое соединение мышьяка, алюминия и галлия, так называемый алюминий-арсенид галлия. Достаточно яркий красный луч излучают лазеры даже малой мощности от 1 мВт, но обычно мощность лазерных указок около 5 мВт, аналогичный лазер используется и в игрушечном лазерном тире.

4.2. «Калейдоскоп» (тема - Геометрическая оптика)



Фото 41

Самый простой игрушечный *калейдоскоп* представляет собой пусть и не сложный, но почти настоящий оптический прибор. Внешне он очень похож на подзорную трубу, поскольку тоже имеет окуляр, правда на этом сходство и заканчивается. Вместо системы линз вдоль продольной оси калейдоскопа распложены три, а иногда и больше зеркальных полоски, обращенные отражающими поверхностями друг к другу. За зеркальными полосками, в торце трубы противоположном окуляру, небольшой отсек отгорожен двумя круглыми стеклами. Одно из стекол отсека, оно дальнее от окуляра матовое, ближнее к окуляру прозрачное, а в промежутке между стеклами насыпаны небольшие кусочки цветного стекла, блестящей фольги, бусинки и разная другая мелочь. Если смотреть в окуляр и вращать калейдоскоп, пересыпающаяся цветная мелочь многократно переотражаясь внутри зеркальной призмы, будет создавать непрерывный ряд неповторяющихся, геометрически правильных, симметричных и очень красивых цветных узоров.

Существует множество вариаций конструктивного исполнения калейдоскопов. У одной из разновидностей, так называемых *афанидоскопов*, отсек с перекатывающимися предметами отсутствует, а неподвижные наборы цветных камушков, бусинок, цепочек и даже насекомых, разложенных и подсвеченных на социальном столике или на обычном столе, рассматривают через зеркальную призму, вращая в руках трубу калейдоскопа. Есть калейдоскопы со встроенными источниками освещения. В жидкостных калейдоскопах вместо перекатывающихся цветных стеклышек переливается смесь нескольких нерастворимых друг в друге цветных жидкостей, иногда в жидкости добавляют металлические блески, бисеринки и т.п.

Первый калейдоскоп был придуман и запатентован в 1816 году шотландским физиком Дэвидом Брюстером. Увлекаясь оптическими исследованиями и экспериментируя с отражением лучей света от различных поверхностей, он нашел закономерность, связывающую степень поляризации, угол падения светового луча и прозрачность диэлектрика. Эту закономерность позже назвали *законом Брюстера*, который в математическом виде записывается как:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Б}} = n$$

где $\alpha_{\text{Б}}$ - угол Брюстера и n - показатель оптического преломления, равный отношению скорости света в вакууме к скорости света в рассматриваемой среде, в данном случае в диэлектрике. В технике показатель n называется также «коэффициентом

оптического преломления, а под углом Брюстера понимается особый, характерный для каждого диэлектрика, угол падения светового луча, при котором степень поляризации оказывается максимальной. О поляризации можно прочитать в описании игрушки № 3.2 «Лазерный тир».

Современная оптика - область физики, где изучаются испускание, распространение света и то, как он взаимодействует с веществом. В оптике различают три главных раздела: геометрическая оптика, физическая и физиологическая.

Геометрическая оптика, не вдаваясь в глубины вопросов происхождения и природы света, рассматривает закономерности отражения, преломления и распространения прямолинейных лучей света в оптически однородных средах. Основным понятием геометрической оптики является световой луч. Его можно представить себе как линию, вдоль которой с огромной скоростью распространяются поперечные волны электромагнитного излучения весьма ограниченной частоты. Поведение таких лучей в геометрической оптике описывается четырьмя основными законами:

1. *Закон прямолинейности*. В однородной среде свет распространяется прямолинейно.

2. *Закон отражения*. Лучи света падающий и отраженный, а также перпендикуляр к плоскости отражения, восстановленный из точки падения, лежат в одной плоскости. Углы образованные падающим и отраженным лучом с плоскостью отражения всегда равны друг другу.

3. *Закон преломления*. Если падающий луч попадает в прозрачную среду другой плотности, то он распадется на два луча - один *отраженный* остается в первой среде второй - *преломленный* входит в среду под измененным углом. При этом лучи падающий, отраженный, преломленный, а также перпендикуляр к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости. Соотношения между углами таковы:

- углы падения и отражения равны между собой;

- синус угла между падающим лучом и перпендикуляром к поверхности раздела сред, умноженный на показатель преломления среды падения, равен такому же произведению для среды, в которой луч преломляется. Эту закономерность опытным путем установил в 1620 году голландский астроном Виллеброрд Снеллиус, а в 1630 году Рене Декарт предложил его математическую запись:

$$n_1 \times \sin \alpha_1 = n_2 \times \sin \alpha_2$$

где: n_1 и n_2 - оптические показатели среды падения и преломления, α_1 и α_2 - углы между перпендикуляром к плоскости раздела сред и лучами падения и преломления.

4. *Закон независимости световых лучей*. Согласно этому закону потоки света небольшой интенсивности при встрече и пересечении не взаимодействуют друг с другом.

Физическая оптика отличается от геометрической тем, что изучает глубинные процессы испускания света, его природы и внутреннего строения, а также всех физических явлений со светом связанных. В рамках этой науки экспериментально установлен ряд физических особенностей света, в которых он проявляет себя как поперечная волна - характер распространения света в неоднородных оптически прозрачных средах, дифракция, интерференция, поляризация. Все эти явления являются предметом рассмотрения волновой оптики. А вот испускание света, его поглощение, фотоэффект, спектральные характеристики, и общие закономерности взаимодействия с веществом указывают на то, свет представляет собой прерывистый поток частиц - корпускул. Описание поведения этих частиц, та называемых квантов света лежит в рамках квантовой оптики.

Основными предметами изучения *физиологической оптики* являются вопросы восприятия световых потоков органами зрения животных и человека, а также фотохимические процессы, протекающие при действии энергии света на биологические объекты, биолюминесценция (излучение света за счет распада химических веществ) и биофлуоресценция (переизлучение квантов света) и фотосинтез.

5. Самодельные игрушки

5.1 Планер из полиэтиленовой пленки и соломинок для коктейля

Развивая тему планирующего полета можно сделать из соломинок для коктейля и полиэтиленовой пленки простую, но изящно летающую игрушку.

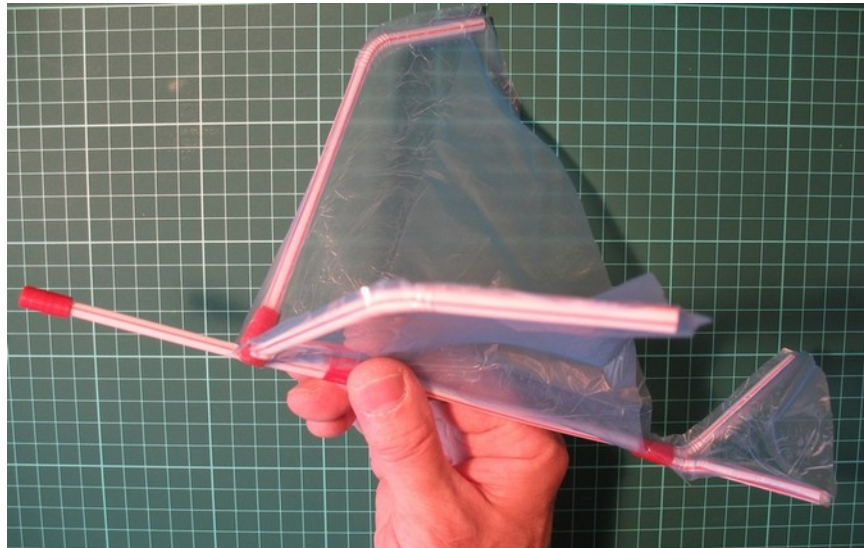


Фото 42

Для игрушки понадобятся:

1. Четыре соломинки для коктейля диаметром 6 мм с гофрами.
2. Кусок полиэтиленовой пленки от любого пакета размерами около 40х30 см.
3. Электроизоляционная лента
4. Прозрачная липкая лента
5. Ножницы.

Этапы работы:

1. Согнуть две соломинки в гофра и соединить их кусочками изоляционной ленты, как показано на фото 43.

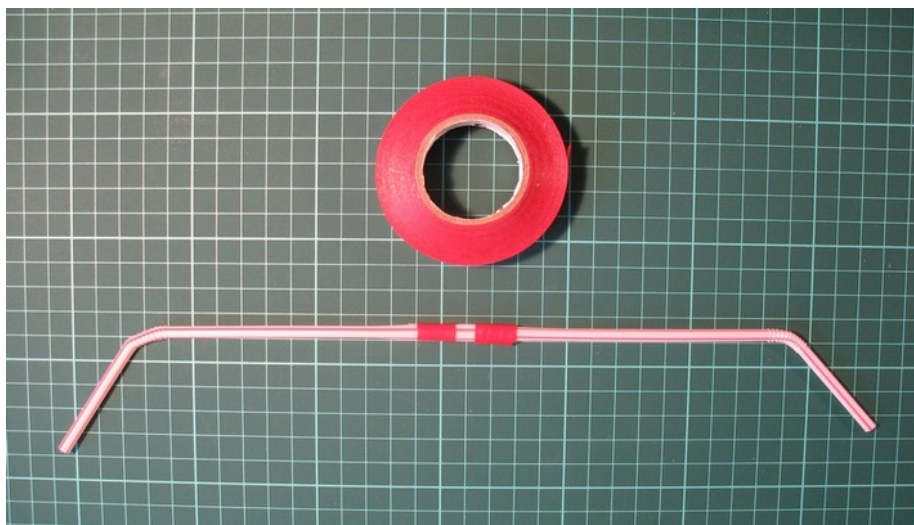


Фото 43

2. Одну соломинку разрезать и соединить с другой, как показано на фото 44.

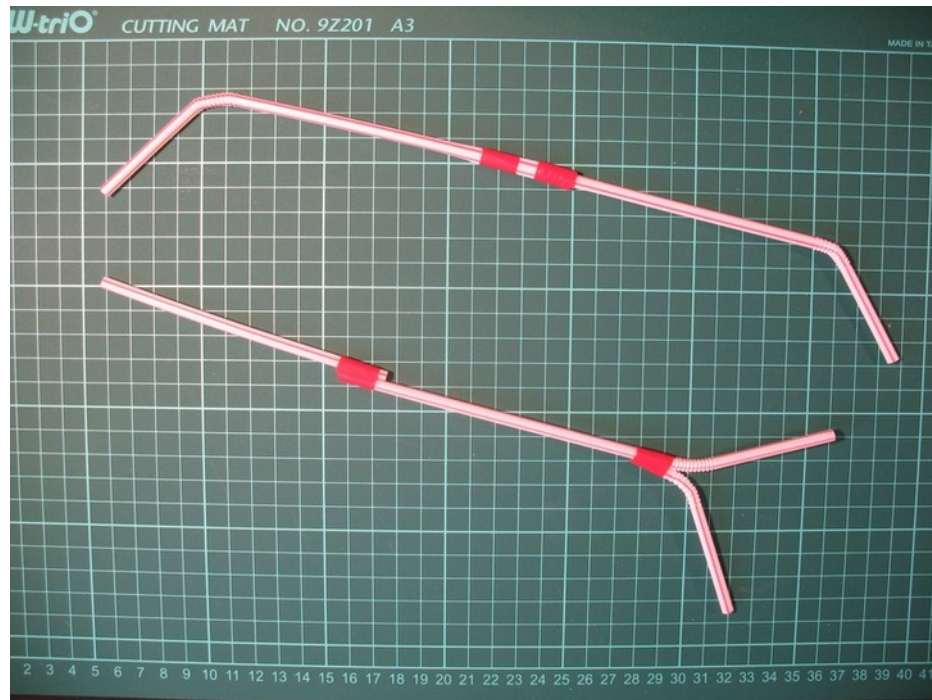


Фото 44

3. Две соединенные соломинки вставить в зазор между другими двумя соломинками, см. фото 45.

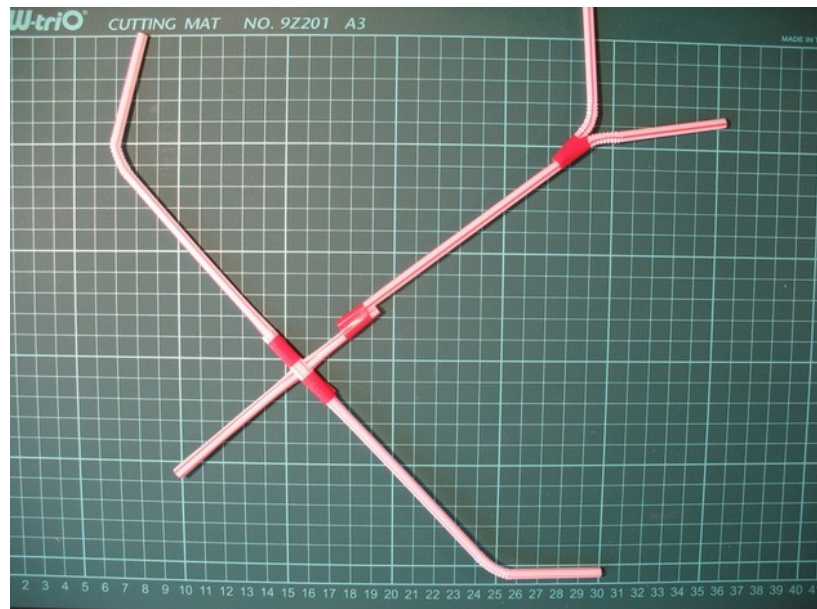


Фото 45

4. Разложить и разровнять на столе полиэтиленовую пленку, положить на неё каркас из соломинок. Скотчем аккуратно приклеить каркас к пленке, минимальный перехлест скотча через соломинку на пленку должен быть не менее 5 мм, см. фото 46.

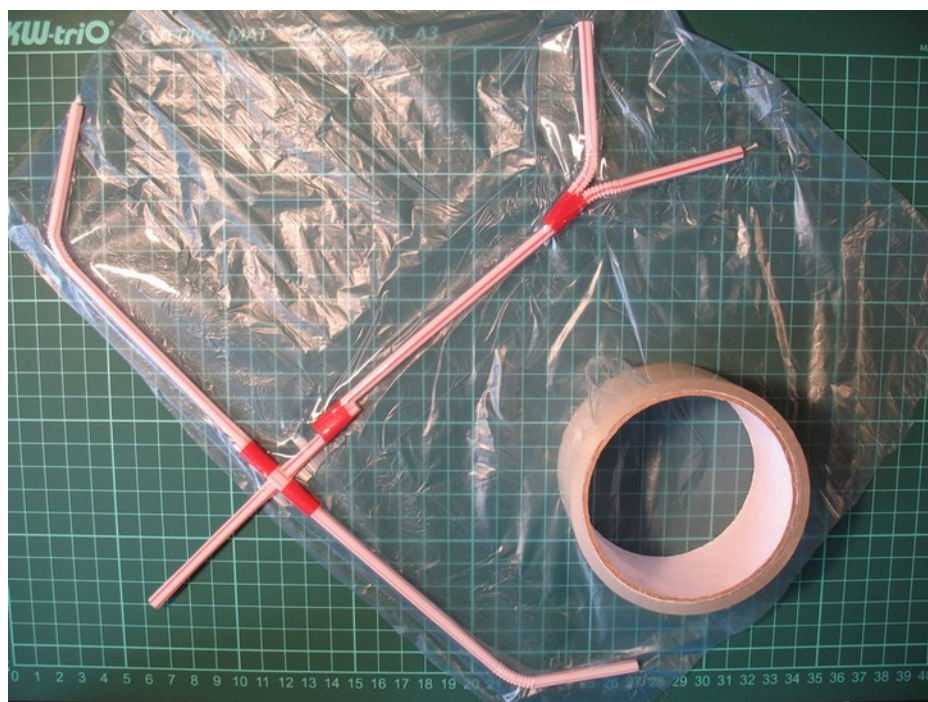


Фото 46

5. Ножницами обрезать пленку, как показано на фото 47.

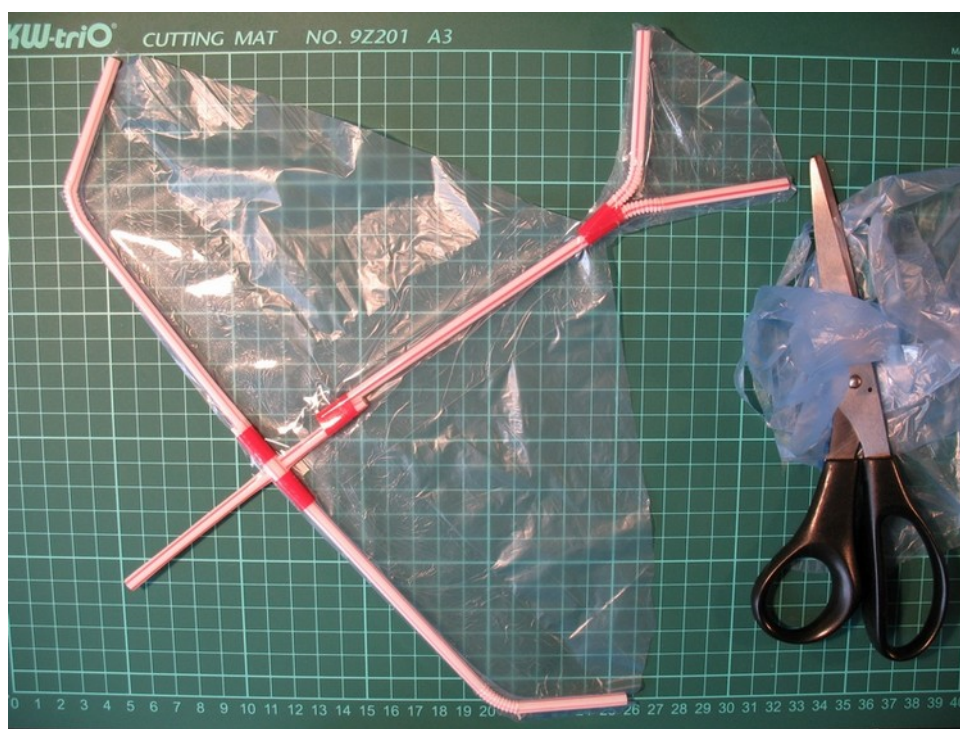


Фото 47

6. На носу планера, для балансировки, намотать 3-4 витка изоляционной ленты, см. фото 48.

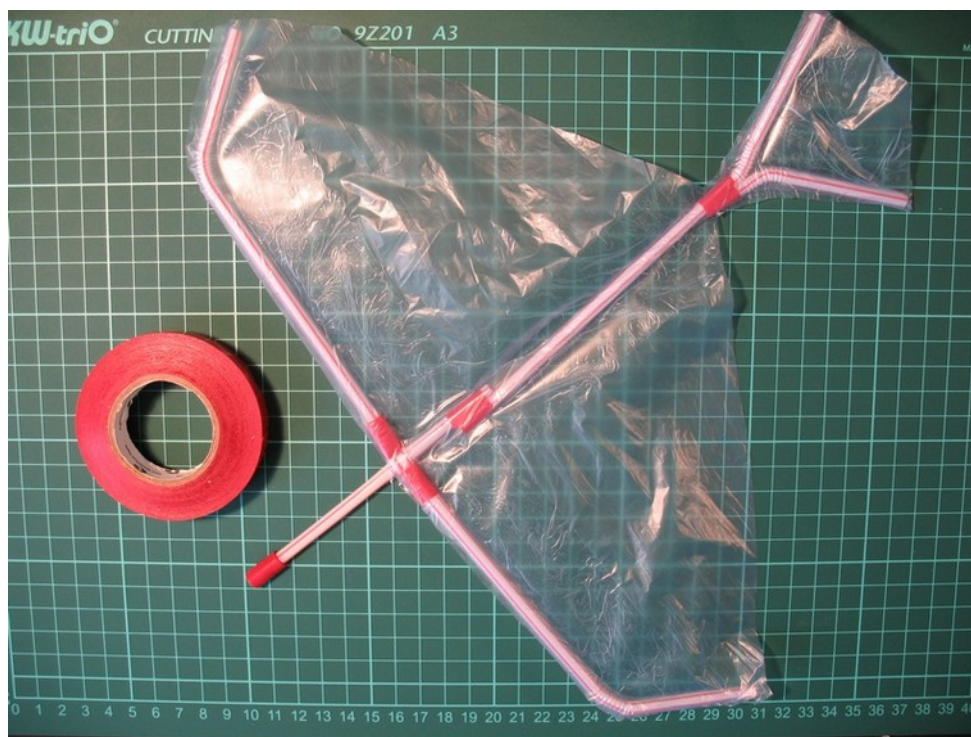


Фото 48

При запуске планера потребуется экспериментальным путем подобрать оптимальный угол между крыльями и угол наклона хвоста. Возможно, потребуется отмотать или добавить изоляционную ленту на носу планера для его балансировки.

5.2 Прецессирующий гироскоп из пластиковой пробки

Простейший прецессирующий гироскоп, который вращается в подшипнике скольжения на нитке, можно сделать из пробки от пластиковой бутылки, кусочка трубочки для коктейля и деревянного шампурчика, см фото 49.

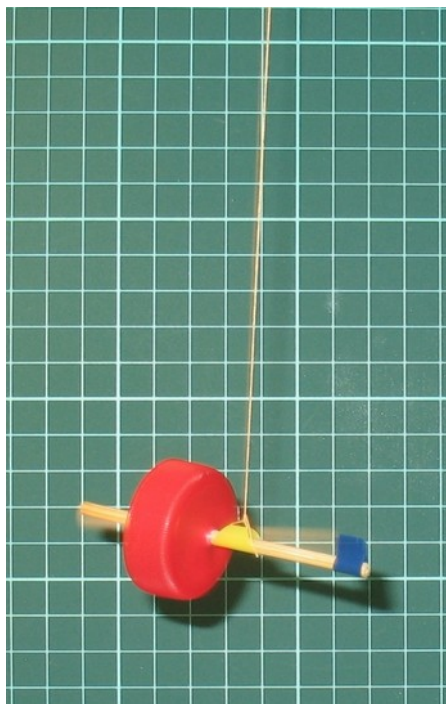


Фото 49

Для игрушки понадобятся:

1. Пробка от пластиковой бутылки
2. Нитки
3. Электроизоляционная лента
4. Деревянный шампурчик

Этапы работы:

1. Сделать отверстие строго в центре пробки, как показано на фото 50.

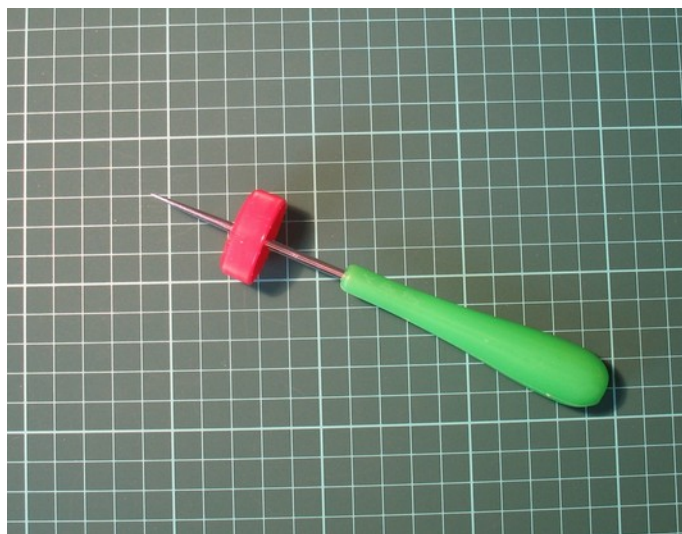


Фото 50

2. Вставить в отверстие кусочек деревянного шампурчика длиной около 5 сантиметров, как показано на фото 51.

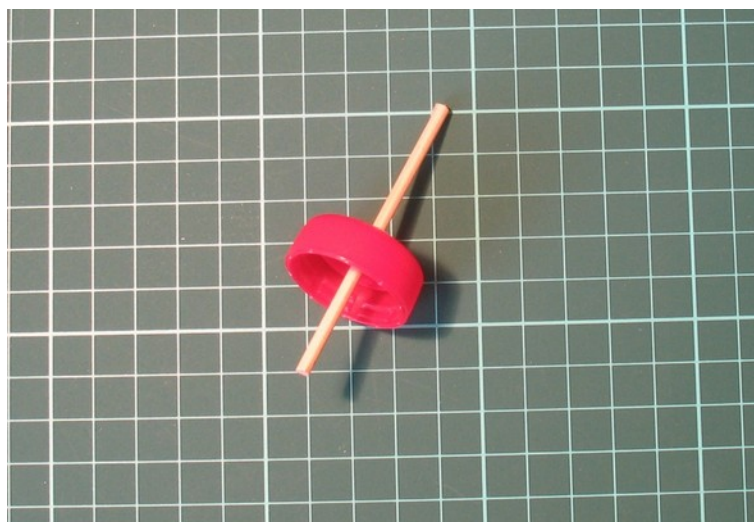


Фото 51

3. Отрезать от соломинки для коктейля кусочек, как показано на фото 52.

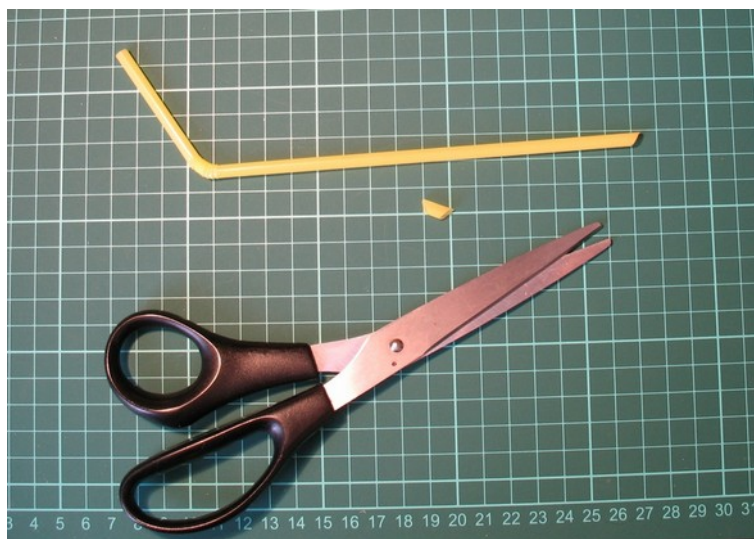


Фото 52

4. Привязать нитку к кусочку трубочки для коктейля и приклеить полоску изоляционной ленты к самому краю деревянного шампурчика, как показано на фото 53.

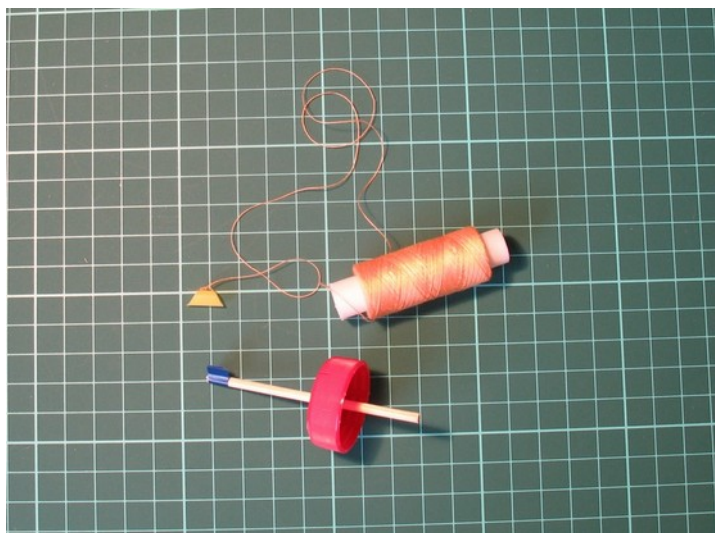


Фото 53

Перед тем запускать гироскоп нужно продеть бамбуковый шампурчик в кусочек трубочки для коктейля так, как показано в начале описания на фото 49. Чтобы заставить гироскоп прецессировать необходимо взять его двумя пальцами за край деревянного шампурчика без изоляционной ленты, расположить его горизонтально, и, без рывков, раскрутить как можно сильнее, после чего отпустить.

При небольшой тренировке можно заставить гироскоп вращаться в двух плоскостях в течение 3-5 секунд. После того сила трения погасит инерцию гироскопа, и он начнет вращаться вертикально, но кусочек изоляционной ленты не даст упасть ему на пол и куда-нибудь укатиться - эксперимент можно сразу повторять.

5.3 Картонная коробочка и сила трения

Эта простая игрушка представляет собой картонную коробочку, свободно соскальзывающую вниз по натянутой нитке. Она интересна своим необычным поведением, когда «по команде» сказанной вслух способна замереть на месте и сколь угодно долго висеть на нитке в силу казалось бы непонятных причин. Если попросить объяснить поведение игрушки, то скорее всего, ответ будет неверным, после чего следует показать скрытое устройство игрушки. Ну а затем дается простое объяснение эффекта удержания появлением силы трения в точках контакта нитки с игрушкой в момент натяжения нитки.

Общий вид игрушки в момент ее «зависания» показан на фото 54.

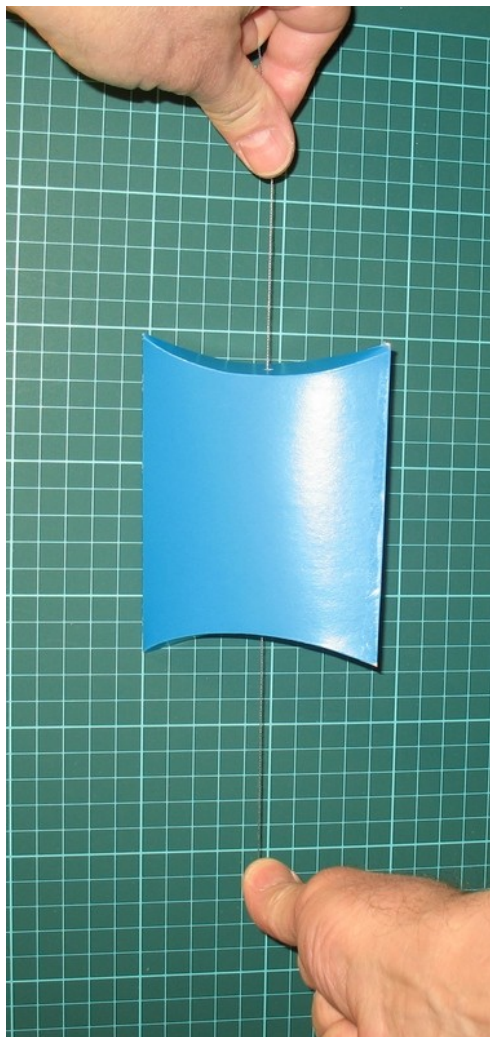


Фото 54

Для игрушки понадобятся

1. Лист цветного картона формата А4
2. Нитки
3. Прозрачная липкая лента
4. Кусочек любой легкой трубочки диаметром 3-4 мм.

Этапы работы:

1. На обратной стороне половины листа цветного картона начертить выкройку будущей игрушки показанную на фото 55.

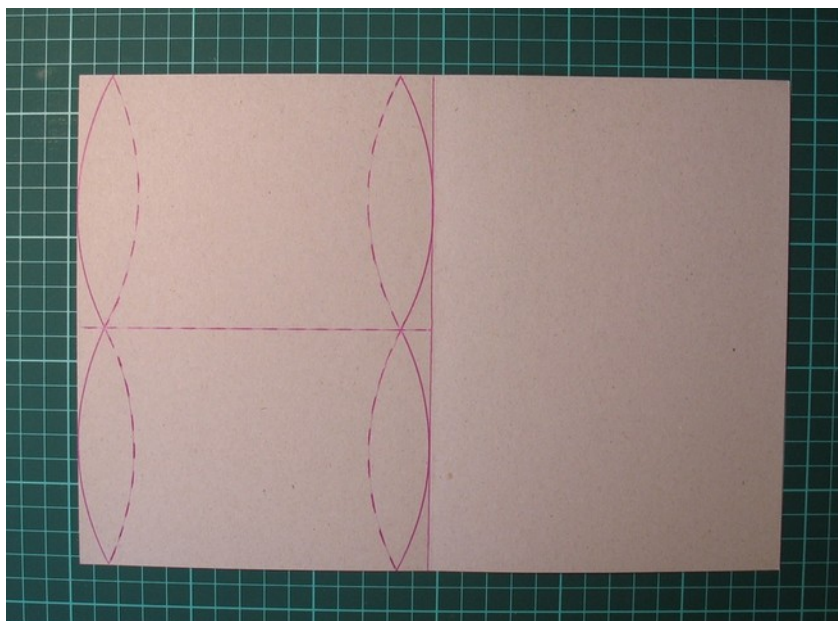


Фото 55

2. Для облегчения будущих сгибов картона, шариковой ручкой с достаточным усилием продавить по пунктирным линиям, показанным на фото 55, проколоть четыре отверстия диаметром 4-5 мм., и приклеить липкой лентой кусочек трубочки как показано на фото 56.

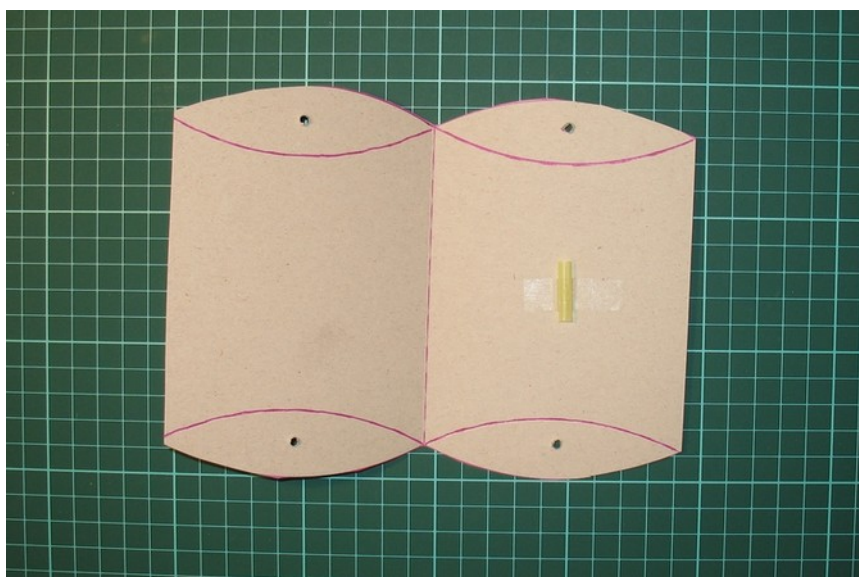


Фото 56

3. Согнуть картонную заготовку по пунктирным линиям, см. фото 57.

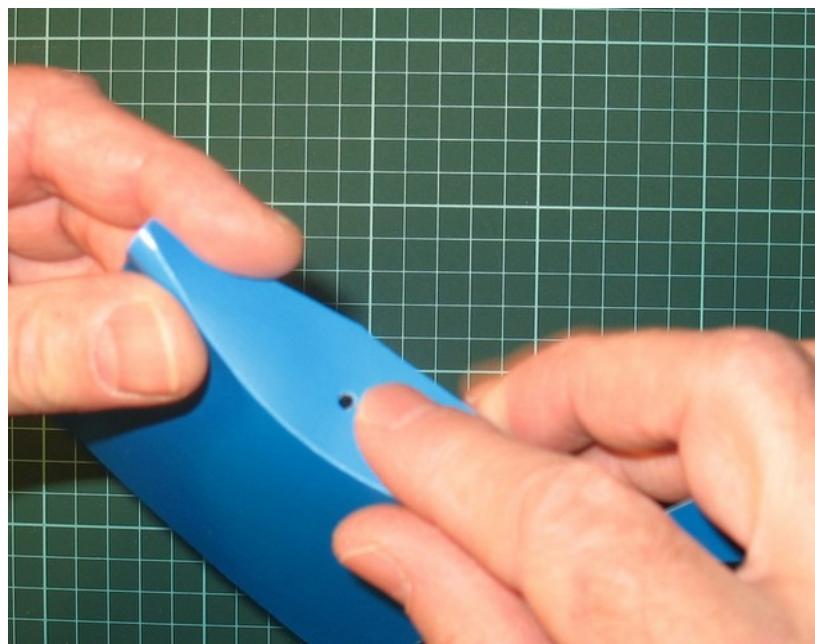


Фото 57

4. Продеть нитку сквозь проколотые отверстия и кусочек трубочки, как показано на фото 58. Чтобы нитка впоследствии не выскочила из игрушки, стоит привязать на ее концах небольшие кусочки картона.

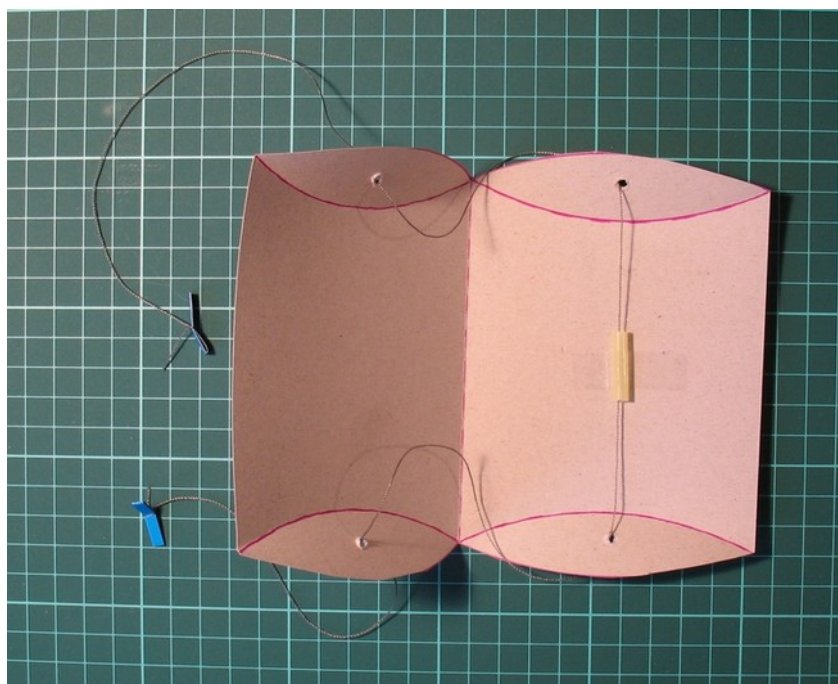


Фото 58

5. Согнуть картонную заготовку в коробочку и липкой лентой склеить ее по боковой линии, как показано на фото 59.

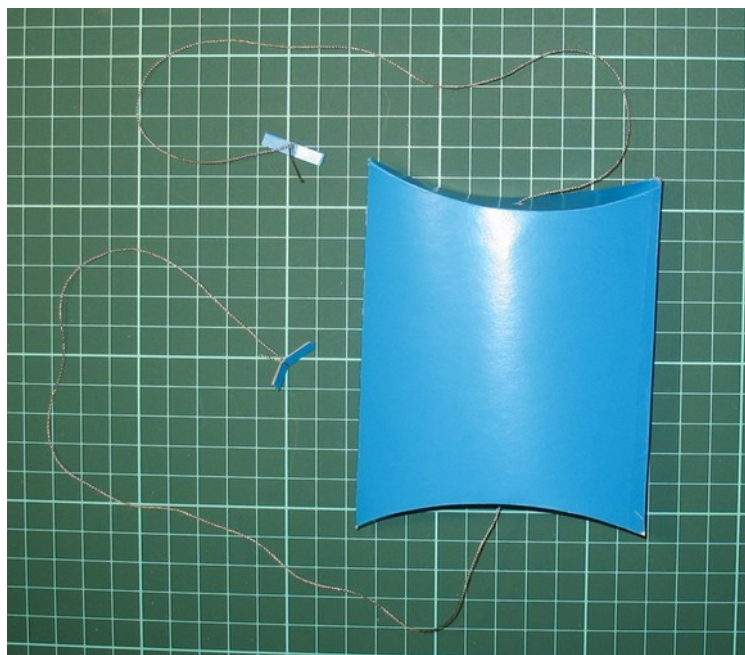


Фото 59

При показе игрушки не следует слишком сильно натягивать нитку, поскольку кусочек трубочки, приклеенной скотчем внутри коробочки может легко оторваться.

5.4 Безмоторная кордовая модель самолета

Несмотря на бурное развитие радиоуправляемого авиамоделизма, кордовые пилотируемые модели самолетов и в наши дни имеют свой, довольно широкий круг любителей этого вида моделизма. Классические кордовые модели оснащаются специальными малогабаритными двигателями внутреннего сгорания и летают по кругу, будучи привязанной двумя тонкими тросиками.

Упрощенный вариант представляет собой планер с крыльями из картона плотностью не менее 320 г/м² и фюзеляжем из соломинки для коктейля. Модель летает по кругу за счет центробежной силы инерции, будучи привязанной ниткой, см. фото 60.



Фото 60

Для игрушки понадобятся

1. Обложка папки для обычного, поделочного картона А4
2. Нитки
3. Прозрачная липкая лента
4. Соломинка от коктейля диаметром 8 мм.
5. Три - четыре канцелярских скрепки

Этапы работы:

1. Из картонной обложки вырезаются заготовки крыльев, такие как показано на фото 61.



Фото 61

2. Заготовки крыльев приклеиваются полосками липкой лены к трубочке для коктейля как показано на фото 62.

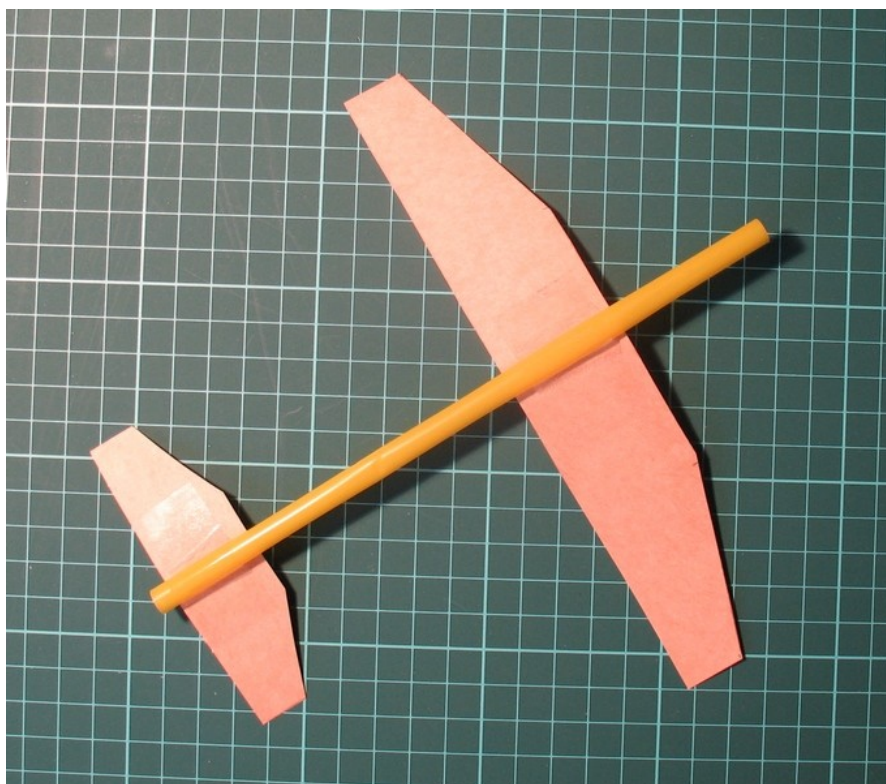


Фото 62

3. На конце одного из крыльев прокалывается отверстие для нитки, см. фото 63.

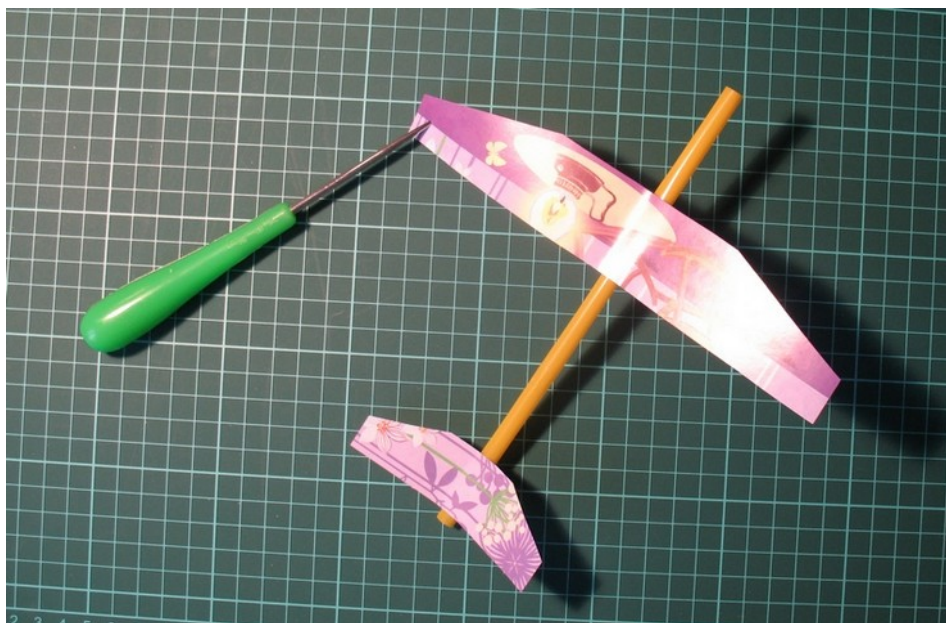


Фото 63

4. Через отверстие продевается нитка и привязывается к крылу, как показано на фото 64.

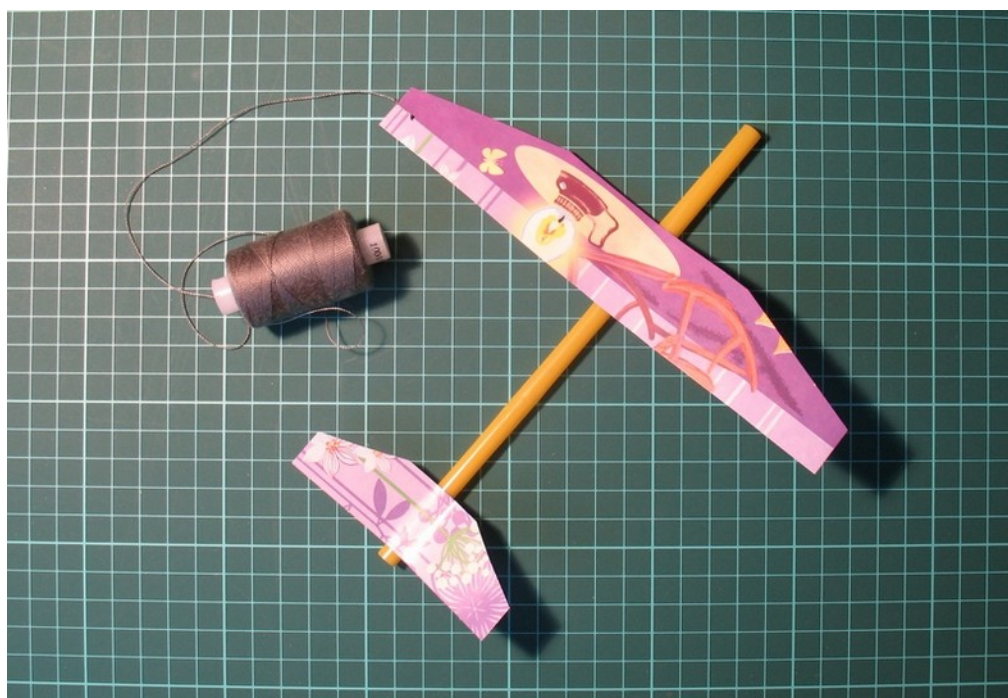


Фото 64

5. Для балансировки в соломинку вставляются несколько скрепок, как показано на фото 65.

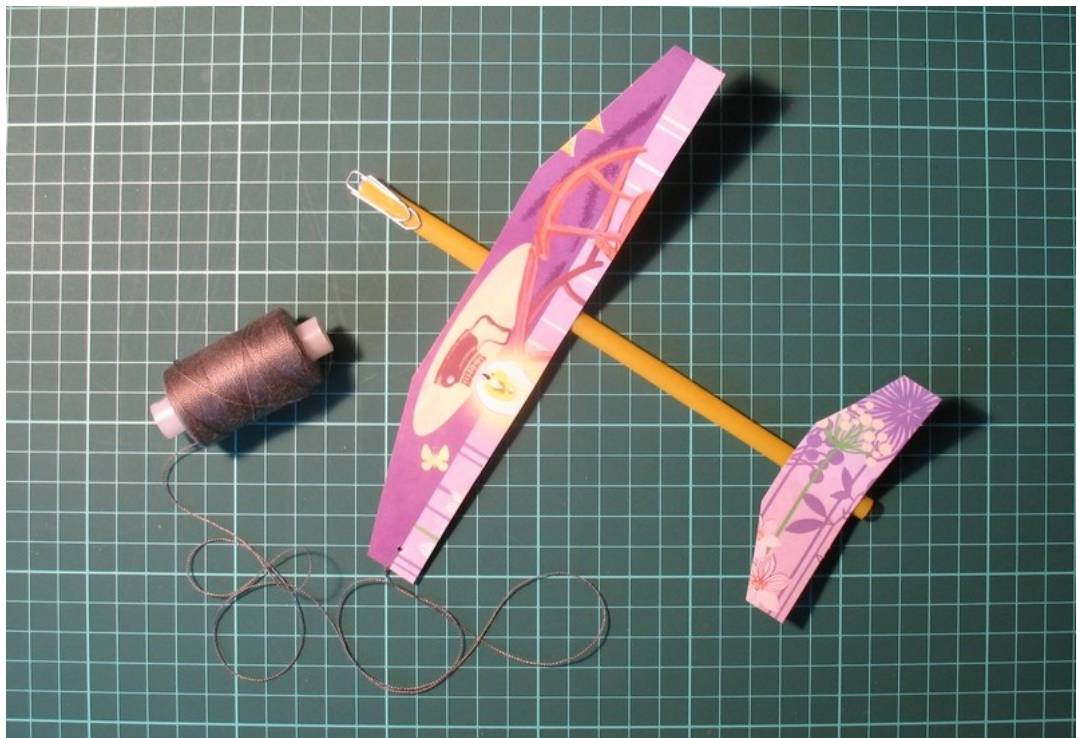


Фото 65

В полет модель приводится вращением руки удерживающей нитку длиной от одного метра. Красивый и полет достигается правильной балансировкой путем подбора достаточного количества скрепок, и отгибая в ту или иную сторону заднюю кромку хвостового оперения.

5.5 Парусник из пенопласта

Корпус модели трехмачтового парусника сделан из трех фрагментов потолочных пенопластовых плиток толщиной 5 мм, соединенных при помощи изоляционной ленты. При запуске на открытом водоеме модель парусник устойчиво держится на небольших волнах и хорошо ловит ветер. Общий вид модели парусника приведен на фото 66.

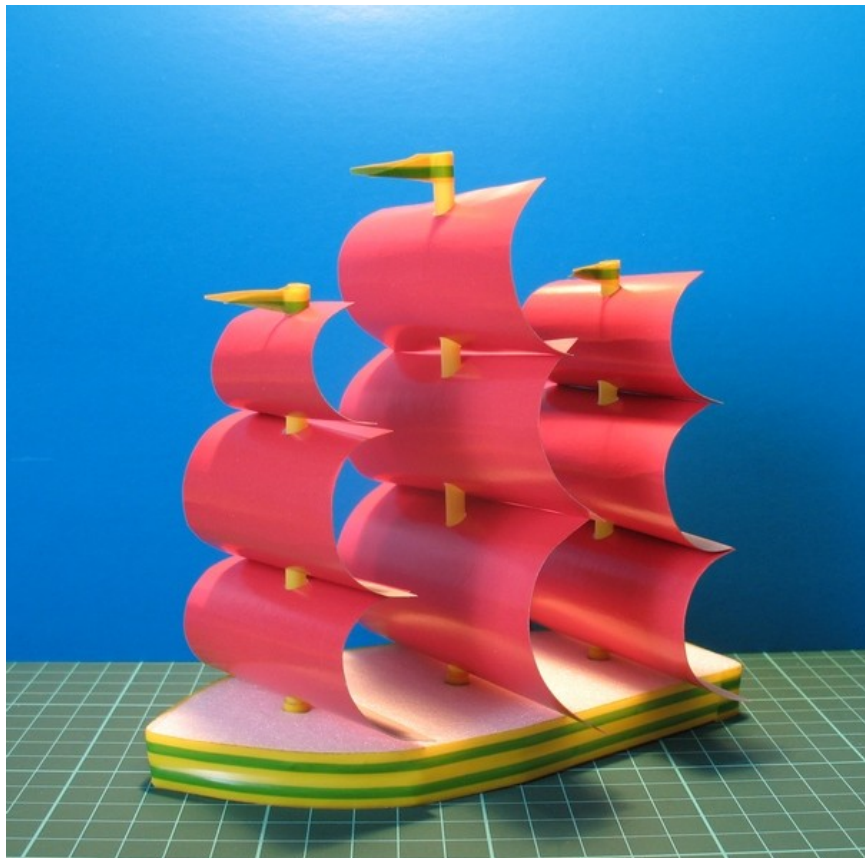


Фото 66

Для игрушки понадобятся

1. Одна потолочная плитка из пенопласта
2. Лист цветного поделочного картона формата А4
3. Электроизоляционная лента
4. Три соломинки от коктейля диаметром 5 мм.

Этапы работы:

1. На трех фрагментах пенопластовой плитки размечаются контуры будущего корпуса парусника длиной около 10-15 сантиметров, примерно такие как показано на фото 67.

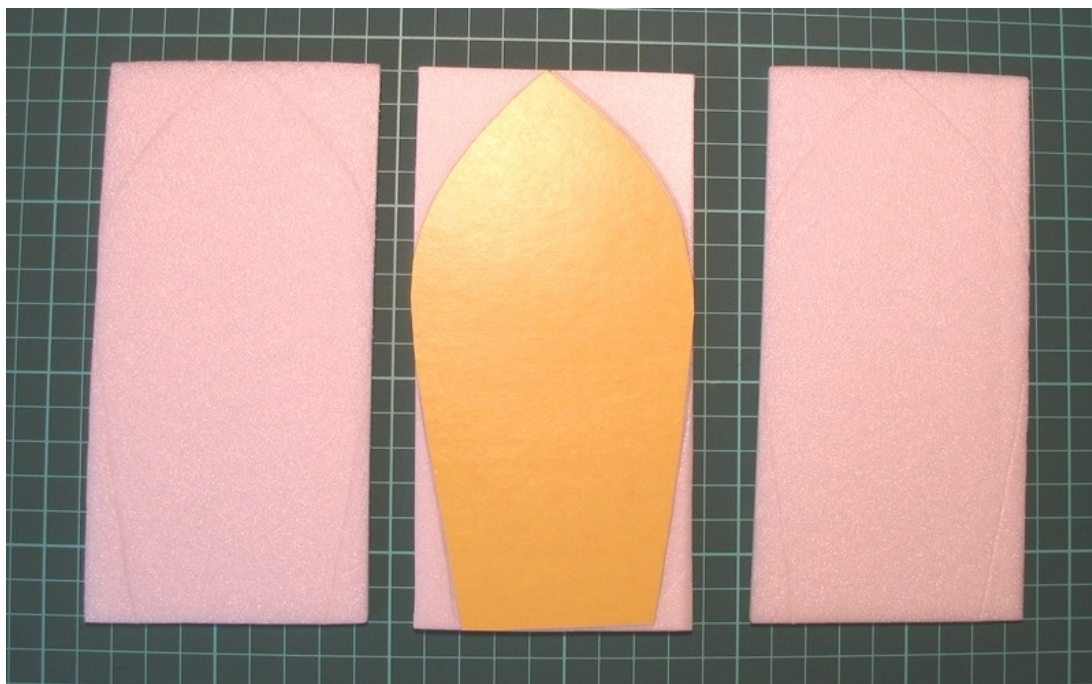


Фото 67

2. Канцелярским ножом или ножницами вырезаются три заготовки корпуса модели, см. фото 68.

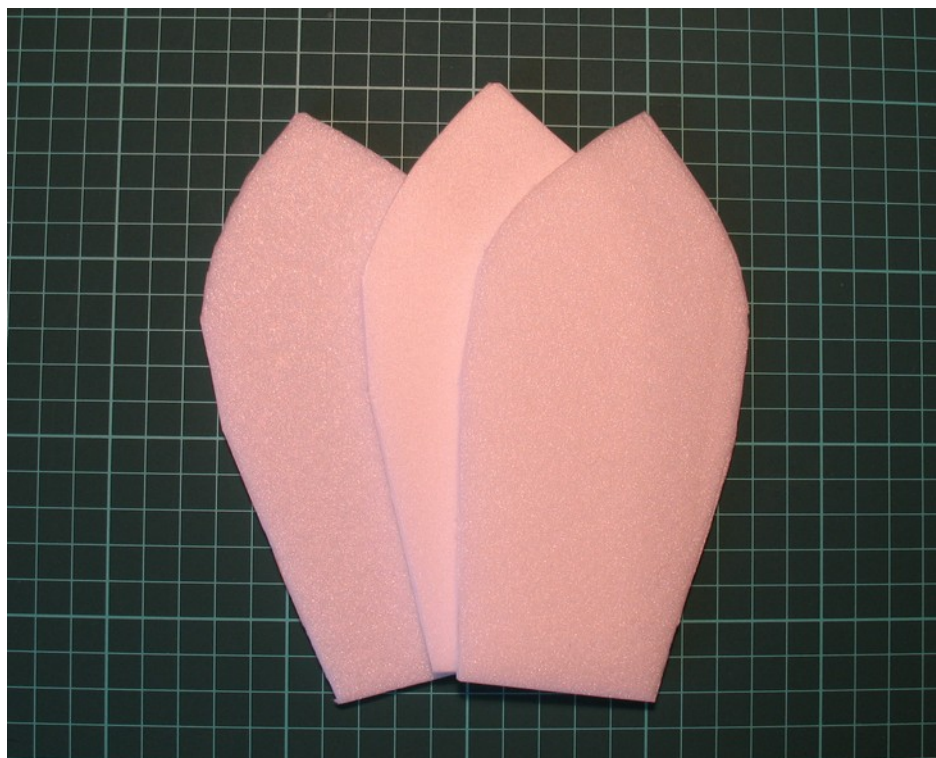


Фото 68

3. Все три заготовки соединяются в единый корпус модели с помощью электроизоляционной ленты так, как показано на фото 69.

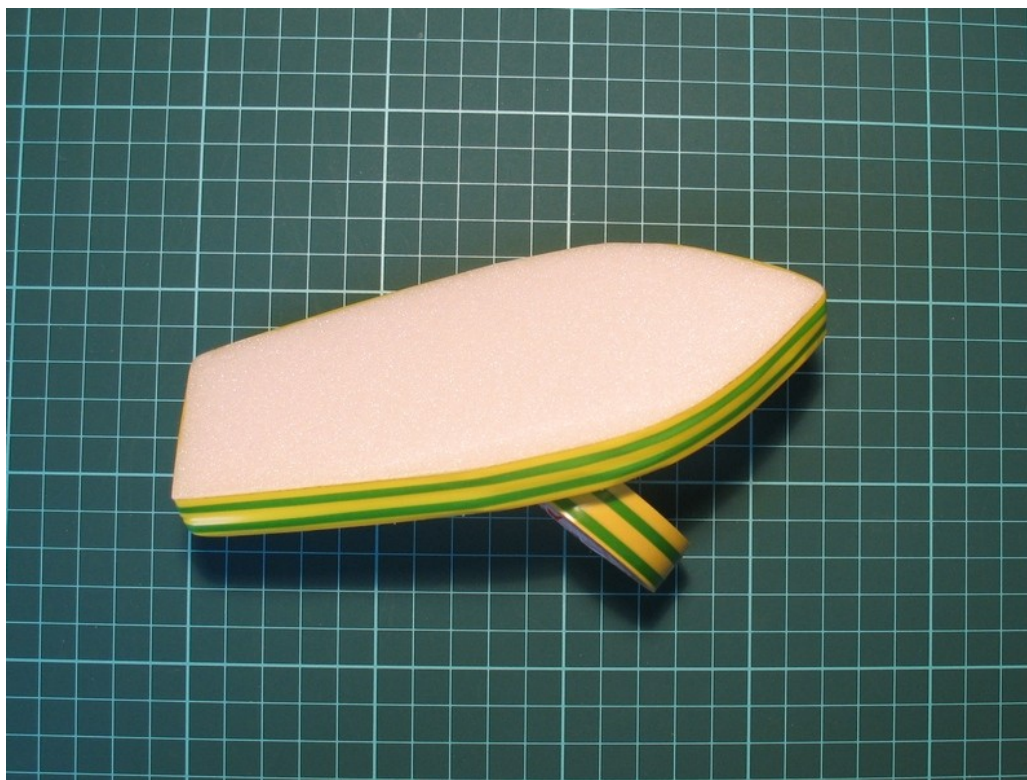


Фото 69

4. Три трубочки для коктейля укорачиваются приблизительно до размеров показанных на фото.70. На одном конце каждой из них наматывается 4-5 слоев электроизоляционной ленты как показано на фото 70.

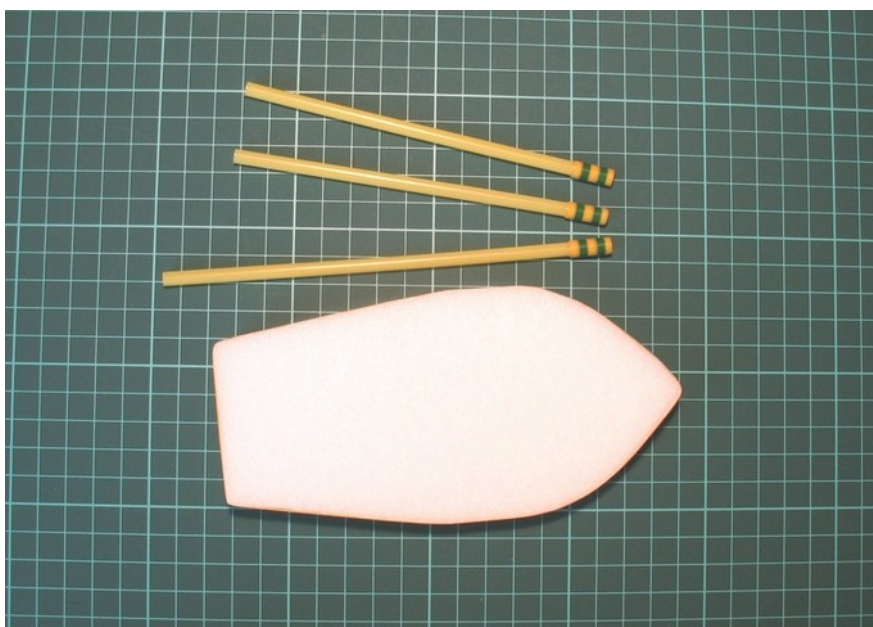


Фото 70

5. Остро заточенным карандашом в корпусе модели прокалываются и расширяются до диаметра примерно 7-8 мм. отверстия под три мачты, см. фото 71.

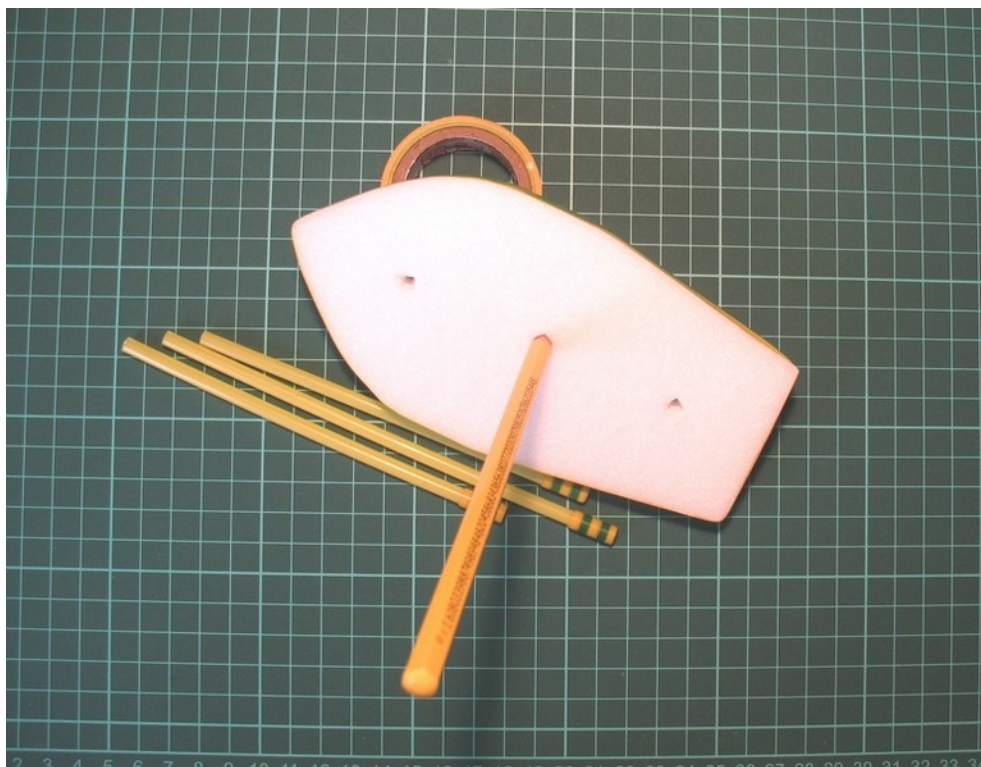


Фото. 71

6. В корпус модели плотно вставляются три мачты, как показано на фото 72.

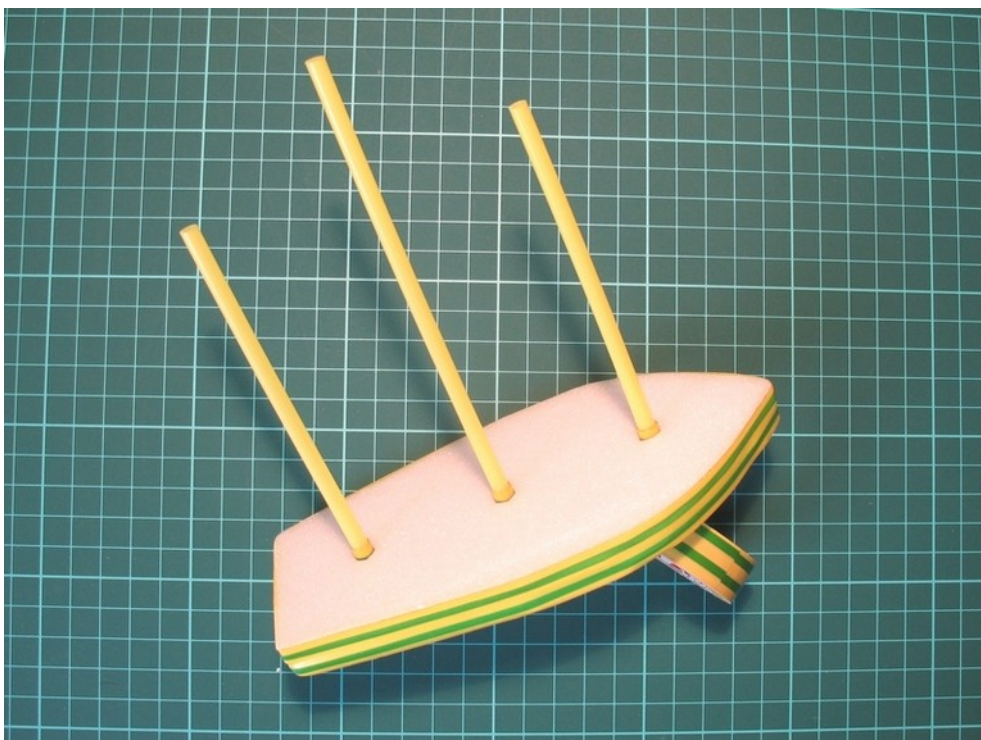


Фото 72

7. Из листа цветного картона формата А4 вырезаются заготовки парусов примерно такие как показано на фото. 73.

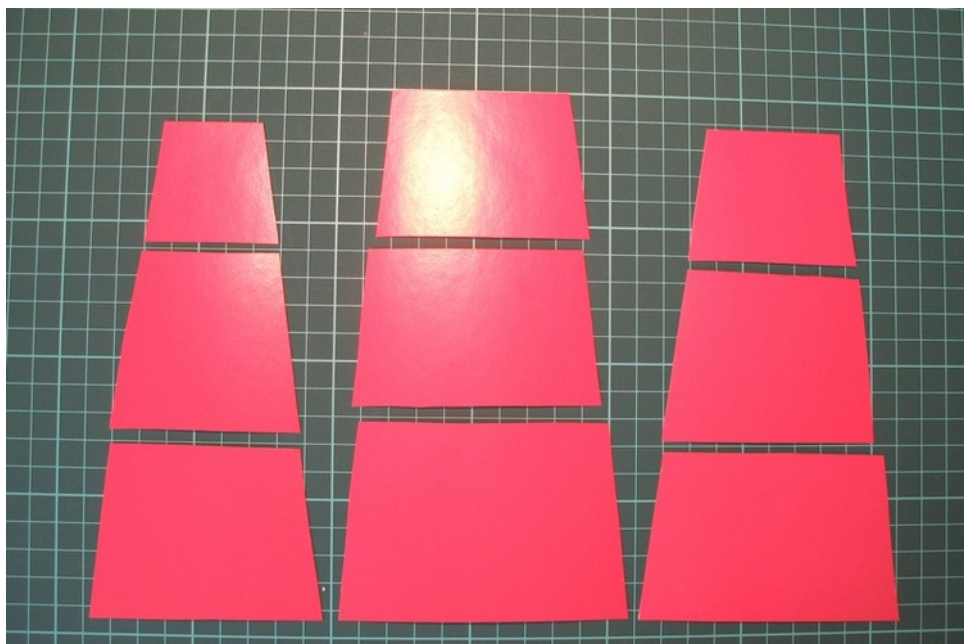


Фото. 73

8. С помощью поглаживания с нажимом о край стола картонным заготовкам парусов придается объемная форма, показанная на фото 74. После чего канцелярским дыроколом делаются отверстия для мачт показанные на фото 74.



Фото 74

На завершающем этапе паруса одеваются на мачты и закрепляются там при помощи стилизованных флажков из электроизоляционной ленты, см. фото 66.

5.6 Баллиста из доньшка от пластиковой бутылки

Принцип работы древнейших торсионных метательных машин демонстрирует самодельная баллиста сделанная из пластиковой бутылки, см. фото 75.



Фото 75

Для игрушки понадобятся:

1. Пластиковая бутылка
2. Капроновый шнурок диаметром 2- 4 мм.
3. Деревянный шампурчик

Этапы работы:

1. Отрезать от бутылки доньшко высотой около 7-8 сантиметров, как показано на фото 76.



Фото 76

2. Проколоть в доньшке два отверстия расширив их до диаметра 4-5 мм., как показано на фото 77.



Фото 77.

3. Продеть в два отверстия отрезок капронового шнура и зафиксировать его с помощью двух кусочков бамбукового шампурчика и прочного узла, как показано на фото 78.



Фото 78

4. Чтобы перед «залпом» была возможность зафиксировать взведенную баллисту, обрезать доньшко от бутылки, как показано на фото 79.

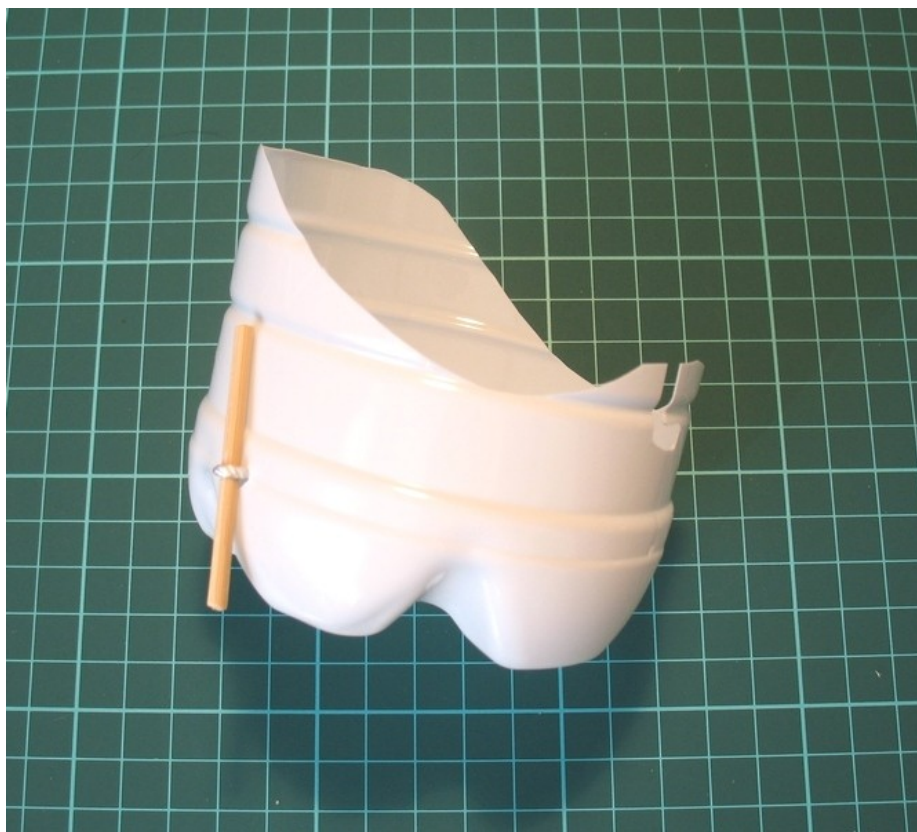


Фото 79

5. Изготовить метательный рычаг для чего в пробке проколоть два отверстия и вставить в них укороченный до 10 -12 см. бамбуковый шампурчик, см. фото 80.

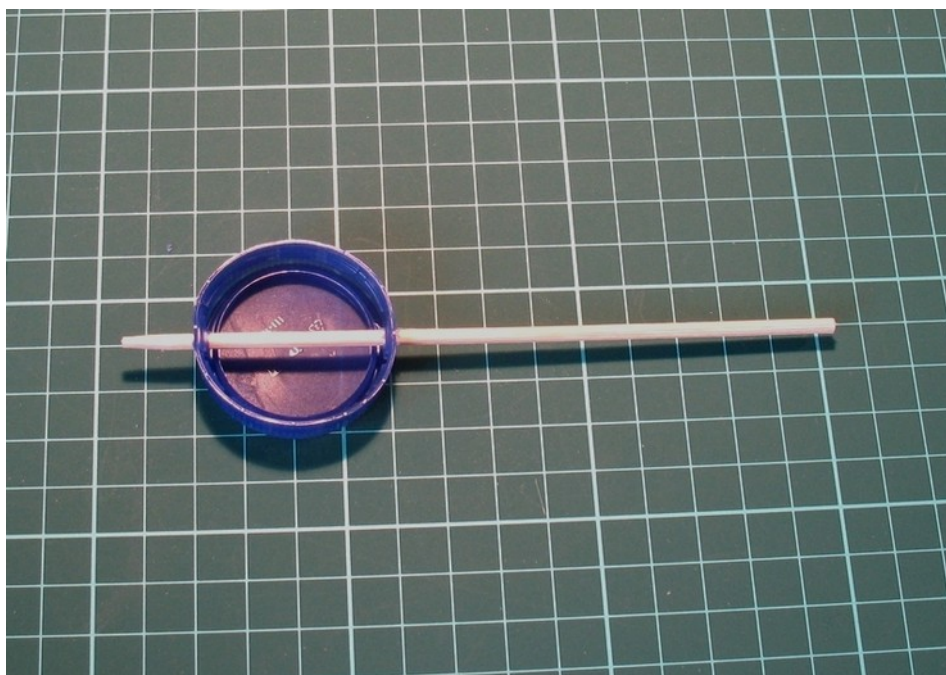


Фото 80

6. Вставить пробку на шампурчике доньшко бутылки с продетым шнурком так, как показано на фото 81.



Фото 81

Чтобы произвести выстрел из баллисты нужно положить в пробку на рычаге небольшой легкий грузик, отвести назад и зафиксировать бамбуковый шампурчик в вырезе доньшка от бутылки, а затем, в нужный момент вытолкнуть шампурчик из выреза. Мощность выстрела можно регулировать оборотами кусочков бамбукового шампурчика, которые удерживают капроновый шнурок. Не стоит слишком сильно их закручивать, так как можно чересчур деформировать доньшко от бутылки.

5.7 Резиномоторная подводная лодка из пластиковой бутылки с автоматом всплытия из кусочка сахара

Эта самодельная игрушка (см. фото 82) кроме резинового моторчика интересна тем, что примерно через минуту после погружения может самостоятельно всплывать.

Игрушка работает следующим образом:

- пластиковую бутылку заполнить водой так, что она едва держится на плаву и закрыть ее герметично пробкой;
- привязать нитку с двумя свободными концами длиной около 15 см. к небольшому грузику, способному увлечь бутылку на дно нитку;
- каждый из свободных концов нитки плотно охватив бутылку привязать к кусочку сахара так, чтобы грузик оказался внизу лодки;
- отпустив игрушку в свободное плавание и наблюдать как она погрузится под воду;
- затем следует немного подождать пока сахар растворится, нитка освободится, груз упадет на дно, а лодка всплывет.



Фото 82

Для игрушки понадобятся:

1. Пластиковая бутылка
2. Нитки
3. Небольшой кусок пластика от бутылки
4. Две деревянных зубочистки
5. Электроизоляционная лента
6. Канцелярская резинка
7. Кусковой сахар

Этапы работы:

1. Отрезать от соломинки для коктейля диаметром 8 мм. кусочек длиной около 10 см. так, чтобы канцелярская резинка надевалась на него с небольшим натяжением как показано на фото 83.

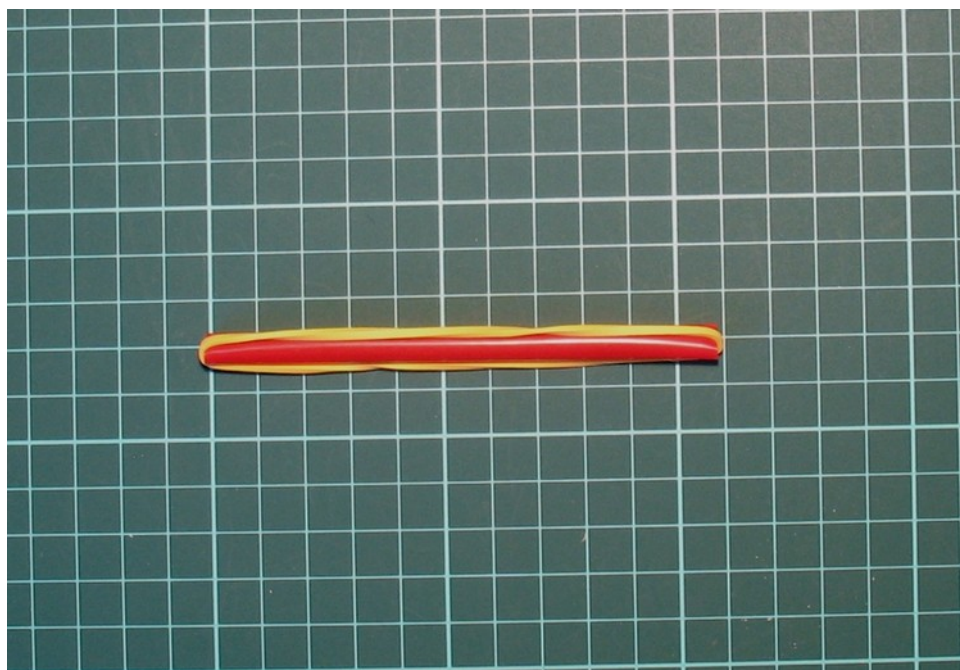


Фото 83

2. Для жесткости намотать по краям обрезанной соломинки по 7-8 оборотов электроизоляционной ленты, а с одного края сделать два надреза, как показано на фото 84.



Фото 84

3. Разметить фрагмент пластиковой бутылки для будущего водяного винта и двух элементов подшипника скольжения, см. фото 85.

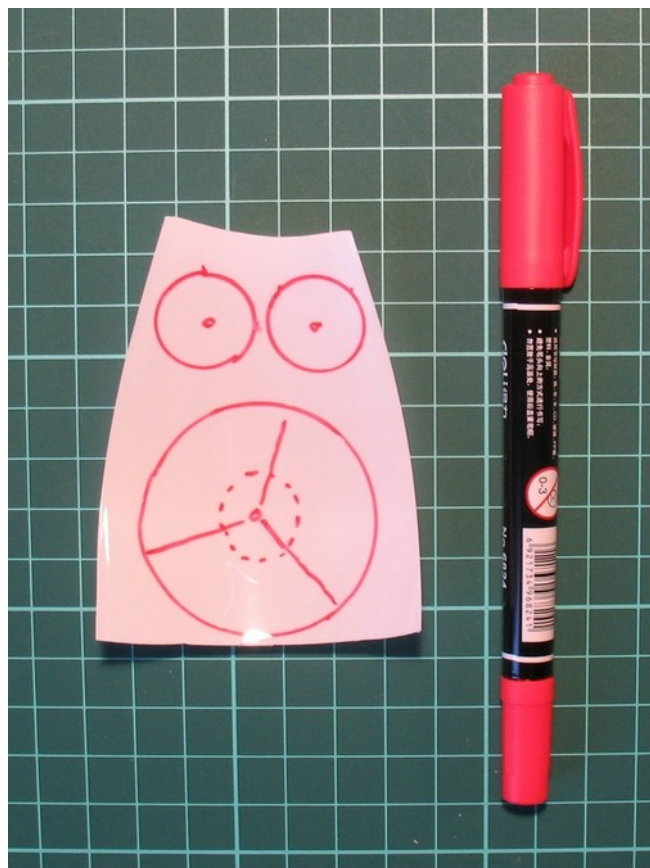


Фото 85

4. Вырезать заготовки водяного винта и двух элементов подшипника скольжения. Проколоть их центре, расширив затем отверстия приблизительно до 3 мм в диаметре см. и согнуть водяной винт как показано на фото 86.

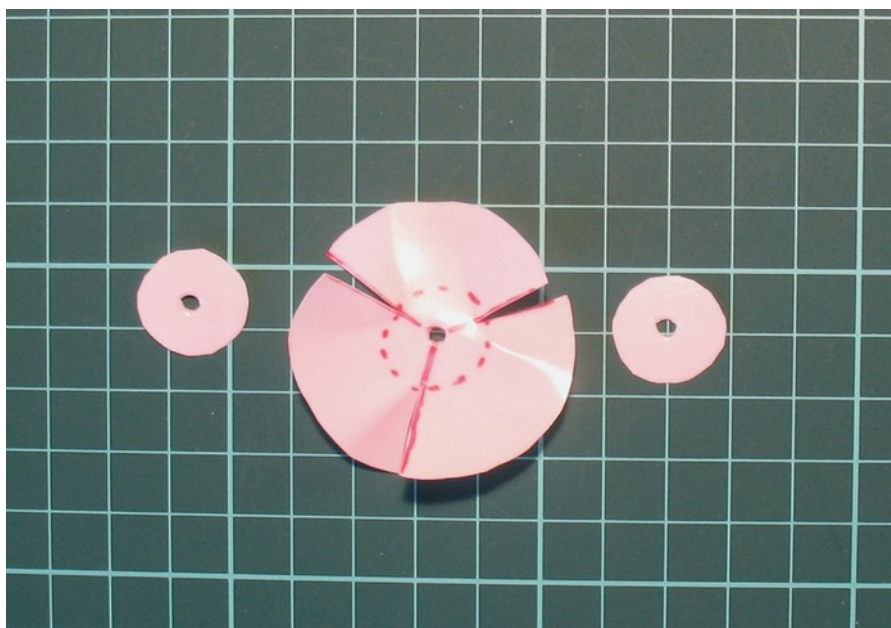


Фото 86

5. Отрезать два кусочка деревянной зубочистки по 15 мм., и продеть канцелярскую резинку сквозь водяной винт и два элемента подшипника скольжения как показано на фото 87.

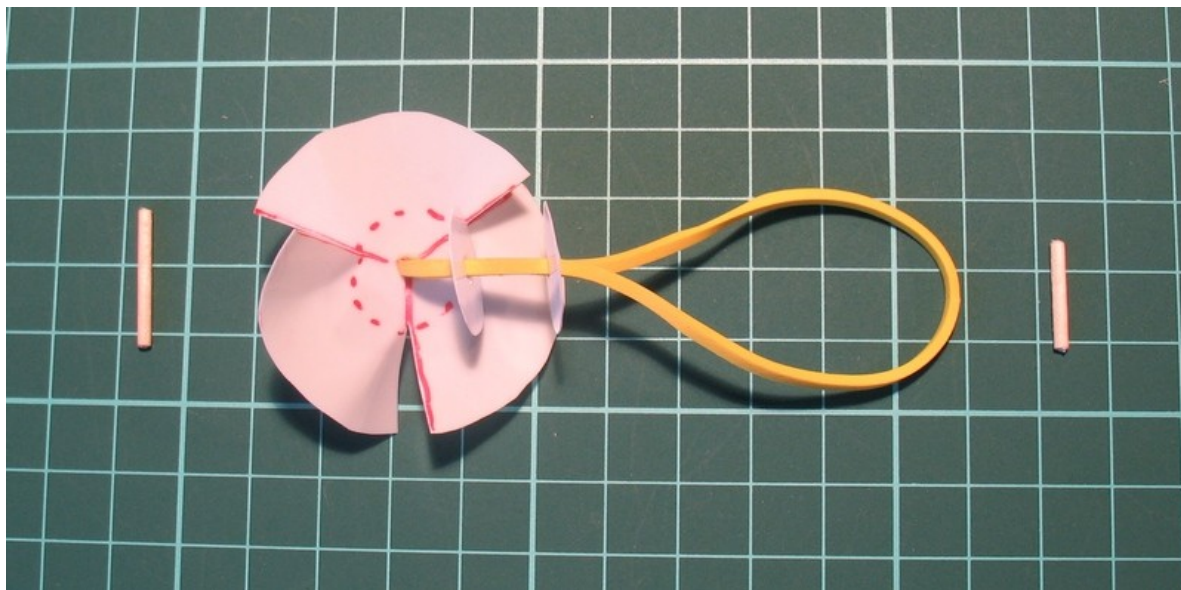


Фото 87

6. Согнуть из скрепки крючок для натяжения резинометра и подготовить резинку перед установкой в трубочку, как показано на фото 88.

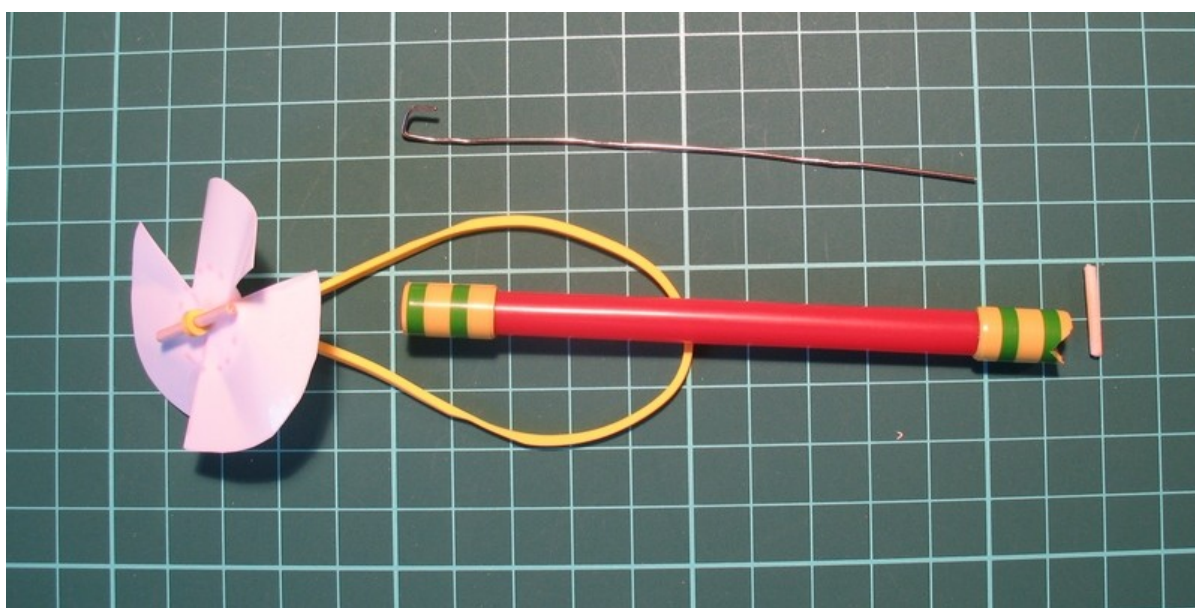


Фото 88

7. Вставить резинку с винтом и подшипником скольжения в трубочку, натянуть ее с помощью крючка из скрепки и зафиксировать кусочком зубочистки, как показано на фото 89.



Фото 89

8. Используя электроизоляционную ленту прикрепить резиномотор к пластиковой бутылке, см. фото 90.

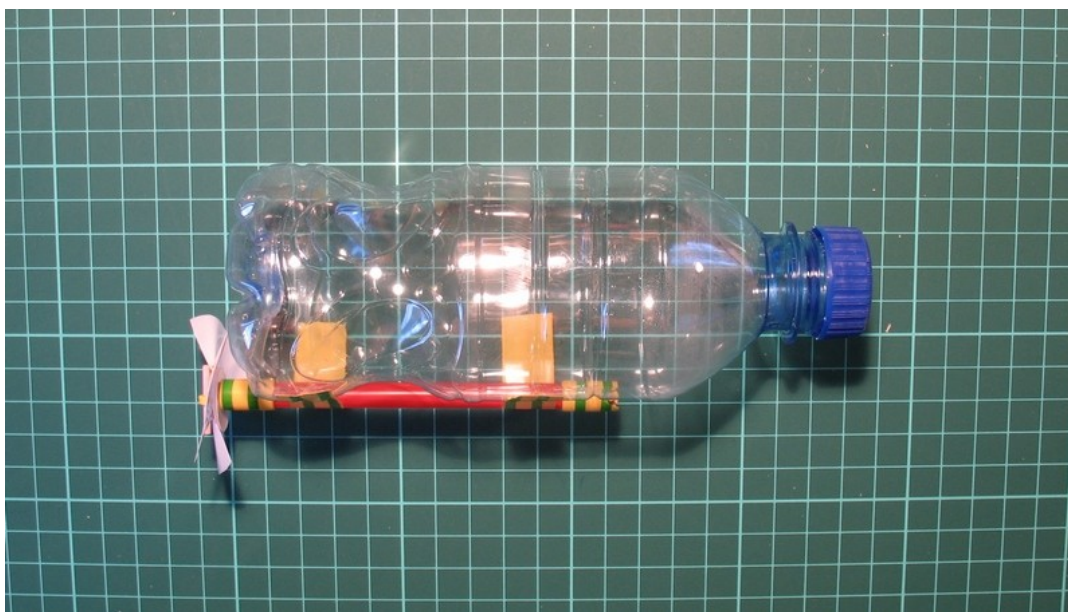


Фото 90

9. Наполнить бутылку водой (на фото подкрашена для улучшения визуализации) так, что она едва держалась на плаву, закрыть ее герметично пробкой и прикрепить дополнительный груз, привязав два конца удерживающей его нитки к кусочку сахара, см. фото 91 .

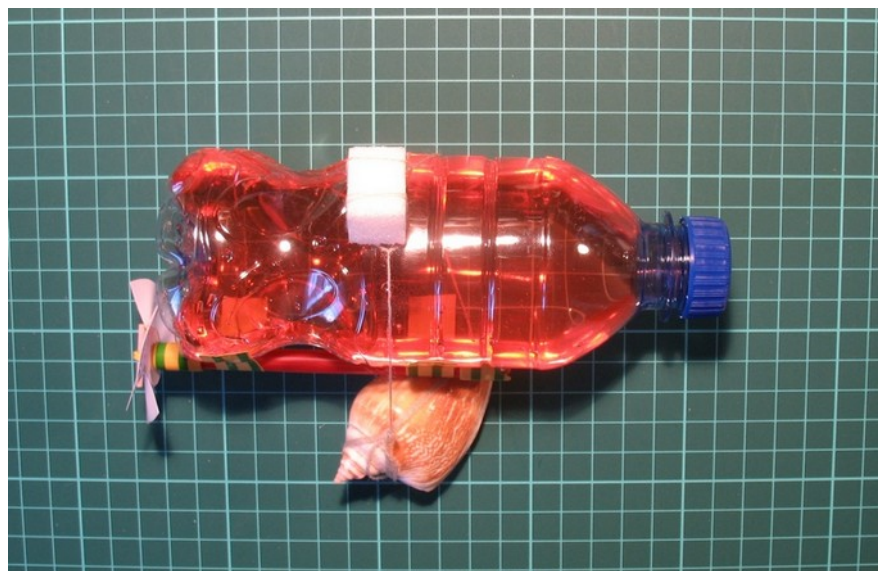


Фото 91

5.8 Пневматический стреломет из пластиковой бутылки

При относительно резком нажатии на бутылку можно довольно точно выстрелить соломинкой для коктейля на расстояние 2-3 метра.



Фото 92

Для игрушки понадобятся:

1. Пластиковая бутылка
2. Соломинки для коктейля диаметров 8 и 4 мм.
3. Медная проволока диаметром 1,5- 2,0 мм. и длиной около 20 см.
4. Термоклей или любой другой аналогичный.

Этапы работы:

1. В пластиковой пробке от бутылки проделать отверстие диаметром чуть больше чем 8 мм., см. фото 93.

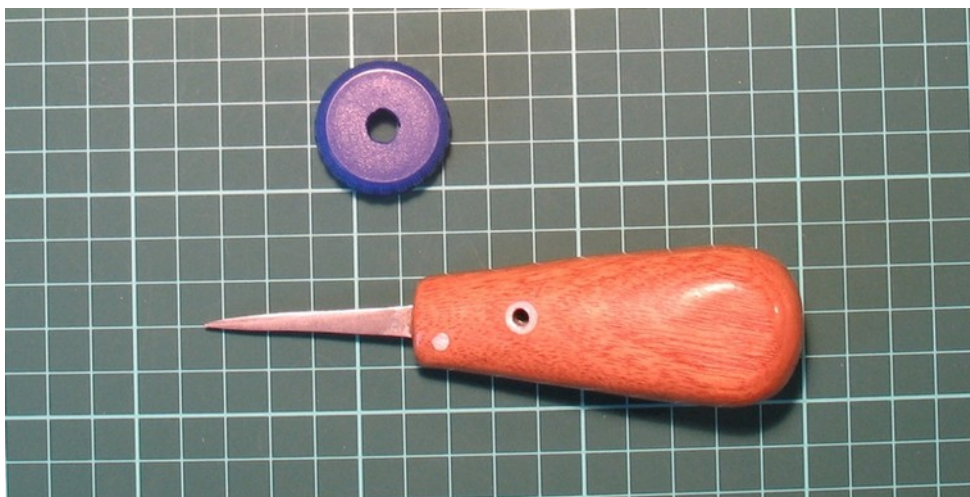


Фото 93

2. В пробку вставить соломинку диаметром 8 мм. и герметично закрепить термоклеем. Соломинку диаметром 4 мм. герметично заглушит с одного конца термоклеем как показано на фото 94.

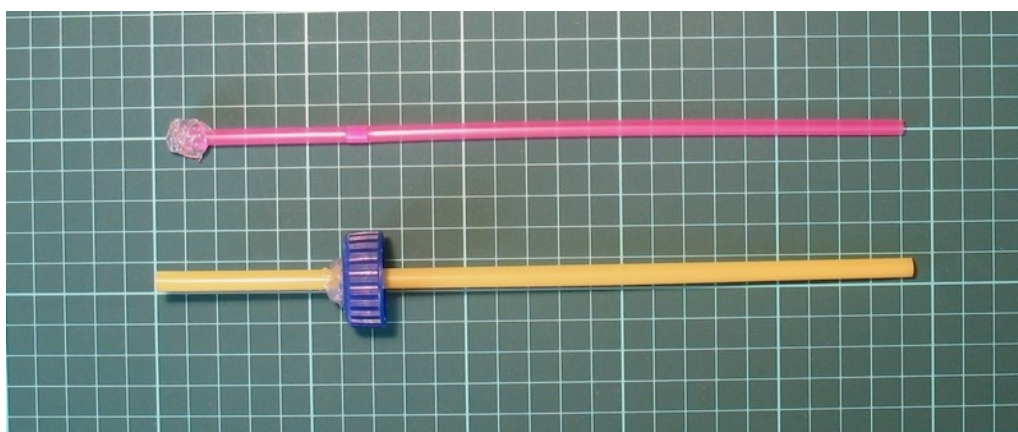


Фото 94

3. Герметично закрутить пробку и вставить тонкую соломинку в толстую. Стреломет готов - см. фото 95.



Фото 95

5.9 Самодельный картезианский водолаз.

Вариантов конструктивного исполнения самодельного картезианского водолаза очень много, но, пожалуй, самый простой из них показан на фото 96.



Фото 96

Для игрушки понадобятся:

1. Пластиковая бутылка
2. Соломинка для коктейля диаметров 8 мм.
3. От 3 до 5 канцелярских скрепок. логичный.
4. Электроизоляционная лента

Этапы работы:

1. От соломинки отрезается кусочек около 8 сантиметров. С одного из концов отгибается один сантиметр соломинки на 180 градусов и в прижатом к длинной стороне состоянии фиксируется электроизоляционной лентой как показано на фото 97.

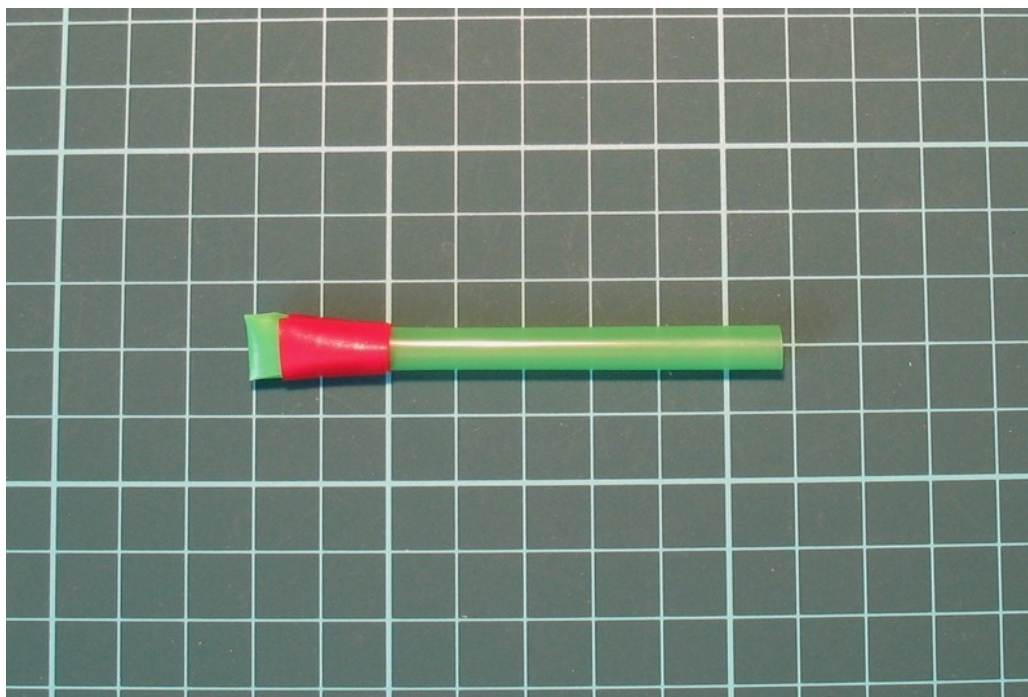


Фото 97

2. С другого края соломинки прокалывается отверстие, и в него вставляются 3-4 скрепки см. фото 98.

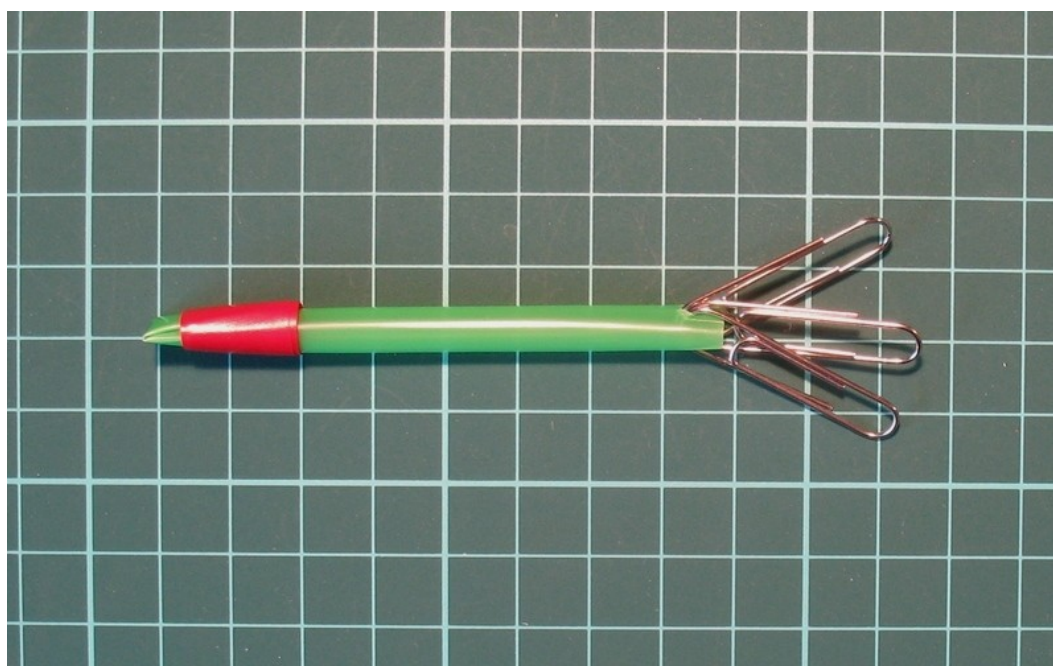


Фото 98

3. Водолаз опускается в бутылку доверху наполненную водой и герметично закрывается пробкой. При нажатии рукой водолаз должен утонуть, а после ослабления давления всплыть. При необходимости вес водолаза может регулироваться добавлением еще одной или снятием лишней скрепки.

5.10 Астроджекс из шариков для пинг-понга

Хотя астроджекс в последнее время набирает популярность и возможно скоро догонит игрушку Йо-Йо, почему-то в продаже он встречается не так часто. Однако его очень просто сделать самому из трех грузиков и нитки, например из трех шариков для пинг-понга, см. фото 99.

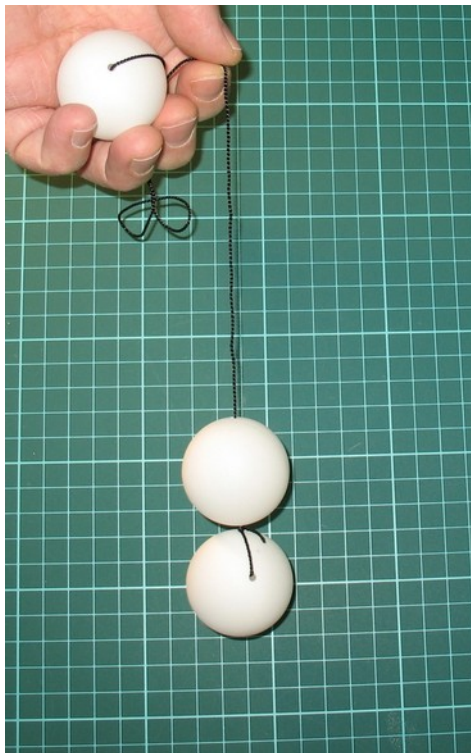


Фото 99

Для игрушки понадобятся:

1. Три шарика для пинг-понга.
2. Капроновая нитка.

Этапы работы:

1. Просверлить все три шарика по диаметру сверлом чуть большего диаметра, чем диаметр нитки, см. фото 100.

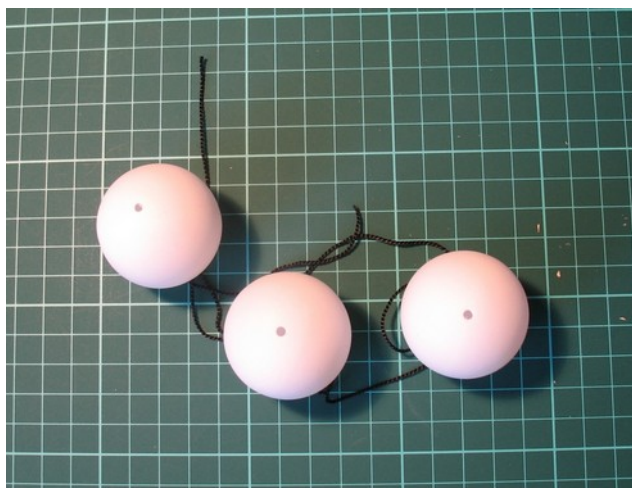


Фото 100

2. Поочередно нанизать на нитку все три шарика, см. фото 101.

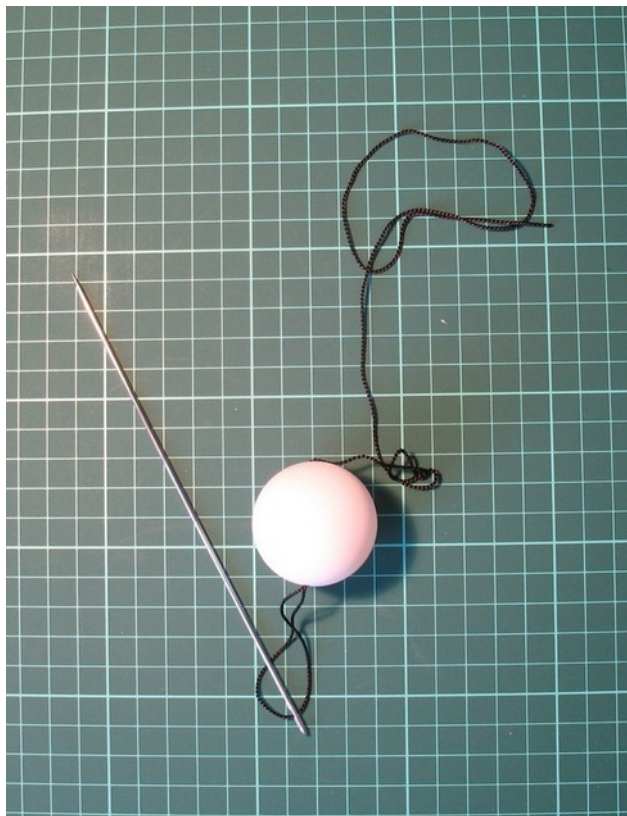


Фото 101

3. Два крайних шарика прочно привязать к нитке, а третий оставить свободно скользящим - игрушка готова, см. фото 99.

5.11 Гидропресс из медицинских шприцев

Принцип работы гидравлических машин основанный на прямо пропорциональном соотношении усилия на поршне и его площади легко понять, играя с простейшим устройством из двух медицинских шприцев, соединенных при помощи небольшого отрезка пластиковой трубки от медицинской капельницы см. фото 102.

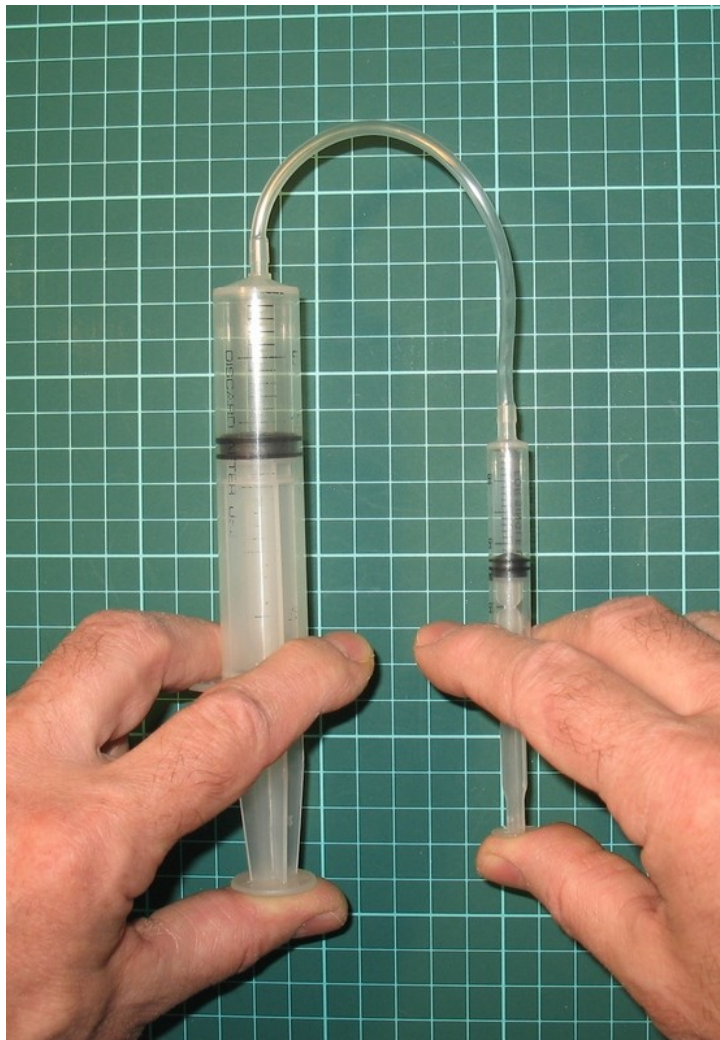


Фото 102

Для игрушки понадобятся:

1. Два -три медицинских шприца различного объема от 5 до 20 мл
2. Отрезок пластиковой трубки от одноразовой медицинской капельницы длиной около 15 сантиметров.

Изготовить устройство очень просто - надо соединить пластиковой трубкой заполненный водой меньший из двух шприцов с шприцом большим см. фото 103.



Фото 103

Заменяв меньший из шприцов на шприц среднего объема, легко ощутить разницу в усилиях, прилагаемых к поршням шприцев и в их перемещениях.

5.12. Демонстрация закона Паскаля при помощи шприца и пипетки

Закон Паскаля утверждающий, что давление в жидкостях и газах распределяется одинаково во всех направлениях наглядно демонстрирует простая самодельная игрушка показанная на фото 104.

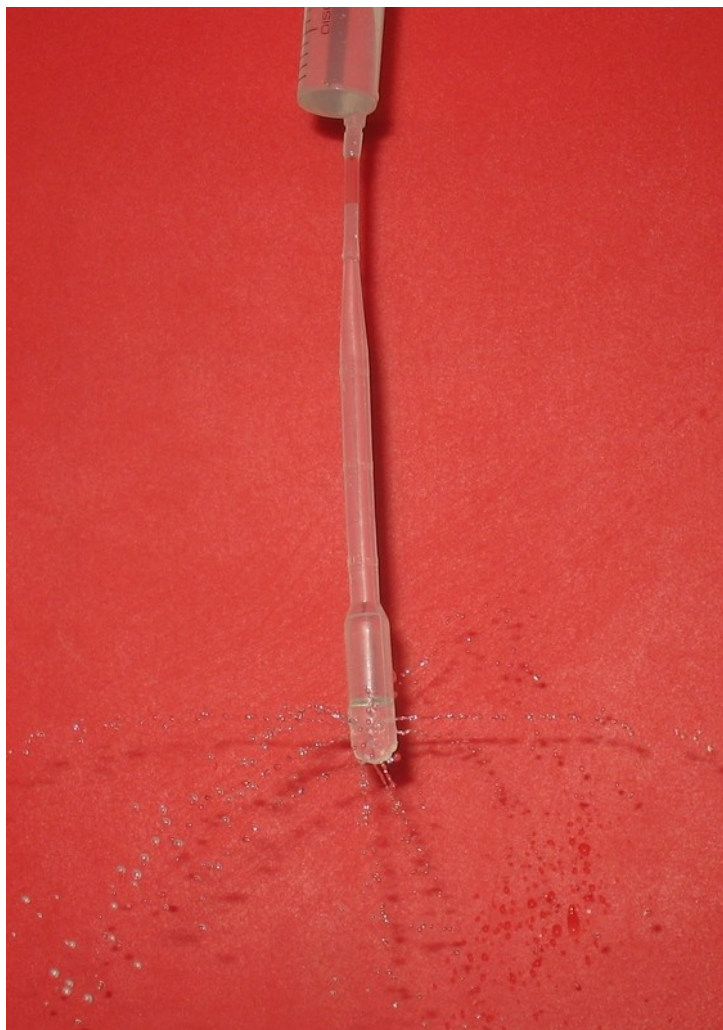


Фото 104

Для игрушки понадобятся:

1. Медицинский шприц 20 мл
2. Пластиковая пипетка
3. Переходник из пластиковой трубки от одноразовой медицинской капельницы

Этапы работы:

1. Многократно проколоть пипетку шилом в разных направлениях, см. фото 105.

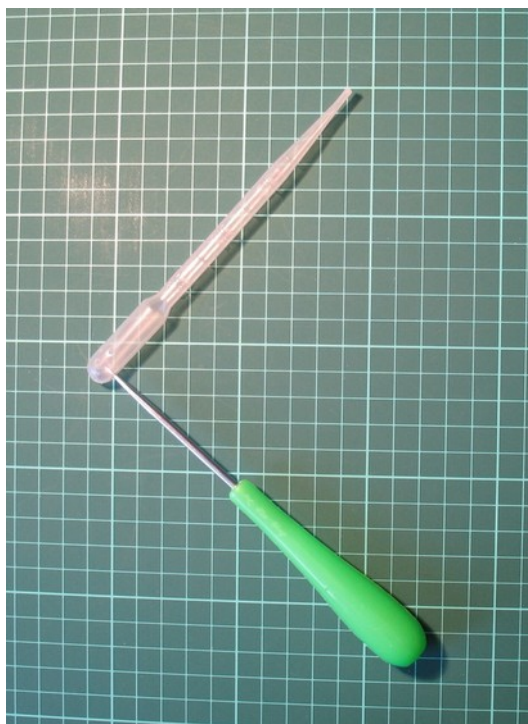


Фото 105

2. С помощью отрезка пластиковой трубки от капельницы соединить заполненный водой шприц и проколотую пипетку, как показано на фото 106.



Фото 106

Если надавить на поршень шприца вода будет выливаться струями направленными согласно закону Паскаля во все стороны, как показано на фото 104.

5.13 Воздушная пушка из пластиковой банки.

Для этой пневматической игрушки подойдет любая пластиковая банка объемом около 500 мл. со съемной крышкой, которая закрывается достаточно плотно. Если вырезать в доньшке банки небольшое круглое отверстие, то ударив щелчком пальца по крышке можно создать в такой импульс давления, что воздух вырвавшись через отверстие в доньшке образует тороидальное уплотнение способное погасить свечу на расстоянии около 15 сантиметров. Такая игрушка показана на фото 107.



Фото 107

Для игрушки понадобятся: одна лишь пластиковая банка с крышкой объем около 0,5 л.

Изготовить игрушку очень просто, надо лишь прорезать в доньшке банки круглое отверстие диаметром около 2 см. см. фото 108.

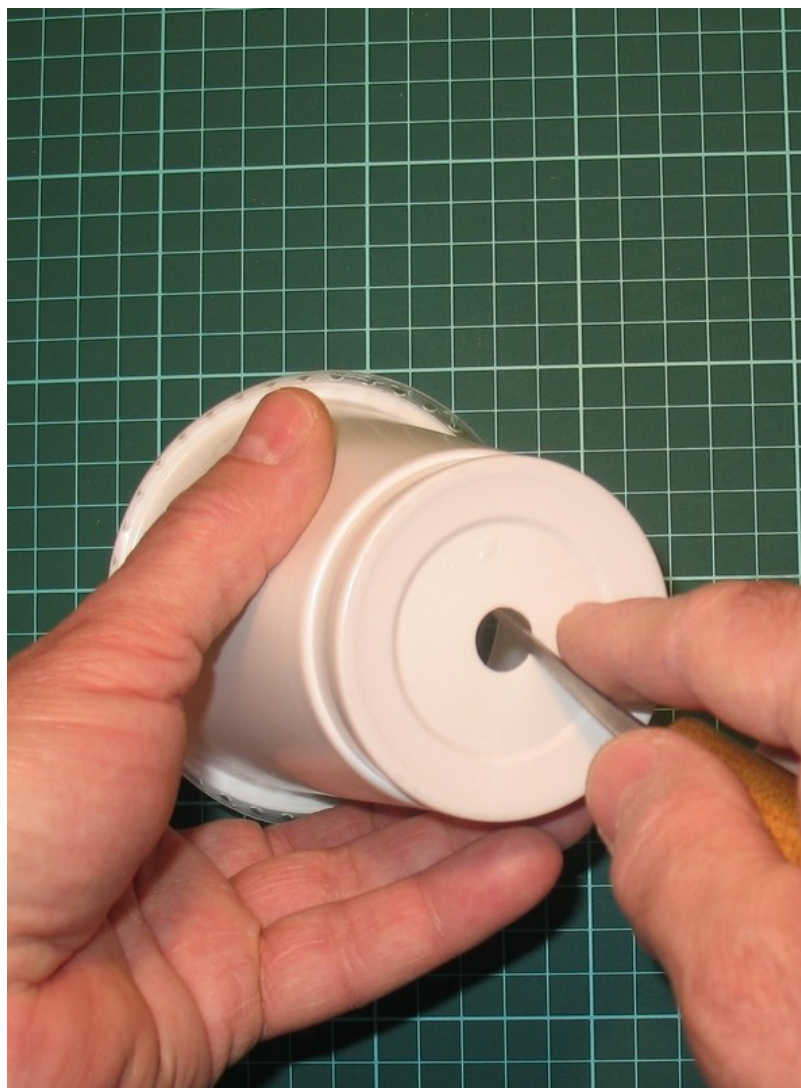


Фото 108

5.14. Звучащая турбулентность

Увидеть, как движется воздушный поток в беспорядочном вихревом потоке и при этом издает достаточно громкий звук можно с помощью несложной самодельной свистульки из трубочки для коктейлей см. фото 109.



Фото 109

Для игрушки понадобятся несколько соломинок для коктейлей диаметром 4 - 5 мм.
Этапы работы:

1. Отрезать от соломинки для коктейлей кусочек длиной около 7-8 сантиметров, см. фото 110.

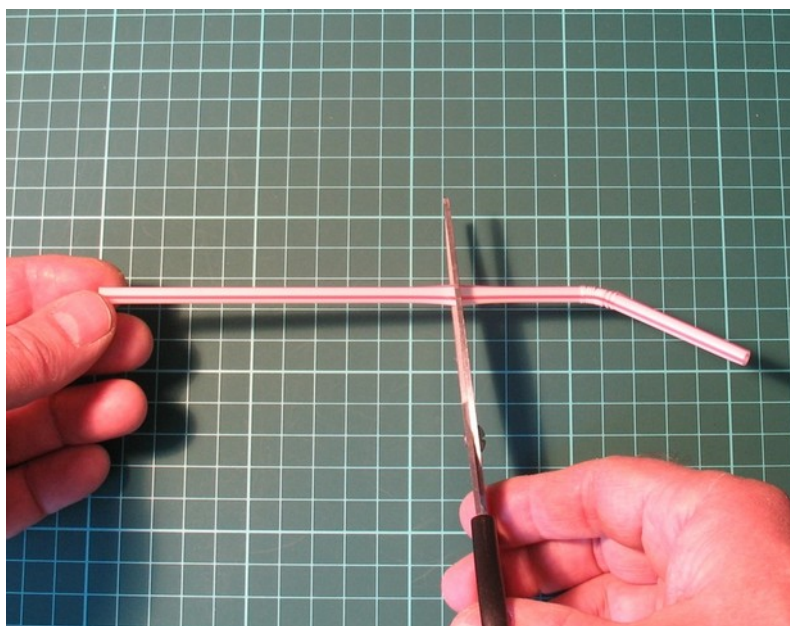


Фото 110

2. Один из концов соломинки обрезать с двух сторон под углом около 15 градусов, как показано на фото 111.



Фото 111

3. Проведя и прижимая ножницы к обрезанным заостренным краям соломинки, слегка их деформировать, как показано на фото 112.

При этом образуется так называемый «пищик», две вибрирующих упругих пластинки, сходящиеся и расходящиеся при звуковых вибрациях воздуха, присутствующие в любом музыкальном духовом инструменте.

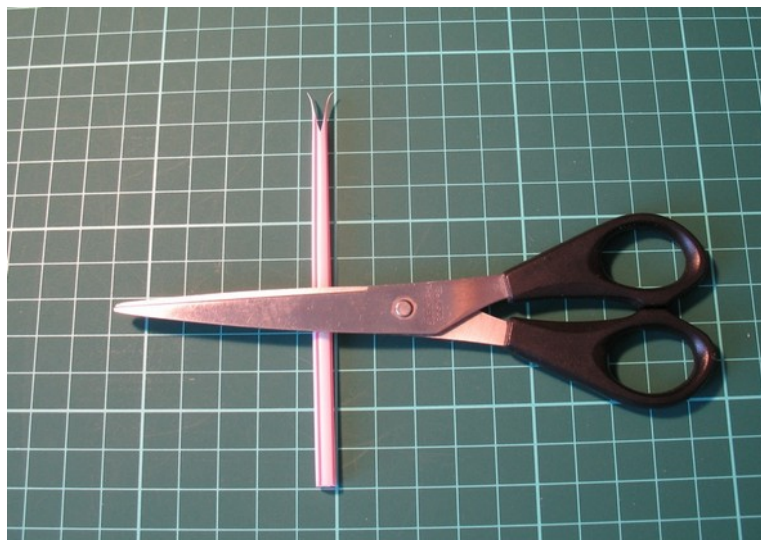


Фото 112

4. С другого края соломинки, постепенно надрезая ее по 2-3 так как показано на фото 113, образовать спираль длиной 2-3 сантиметра, см. фото 109.

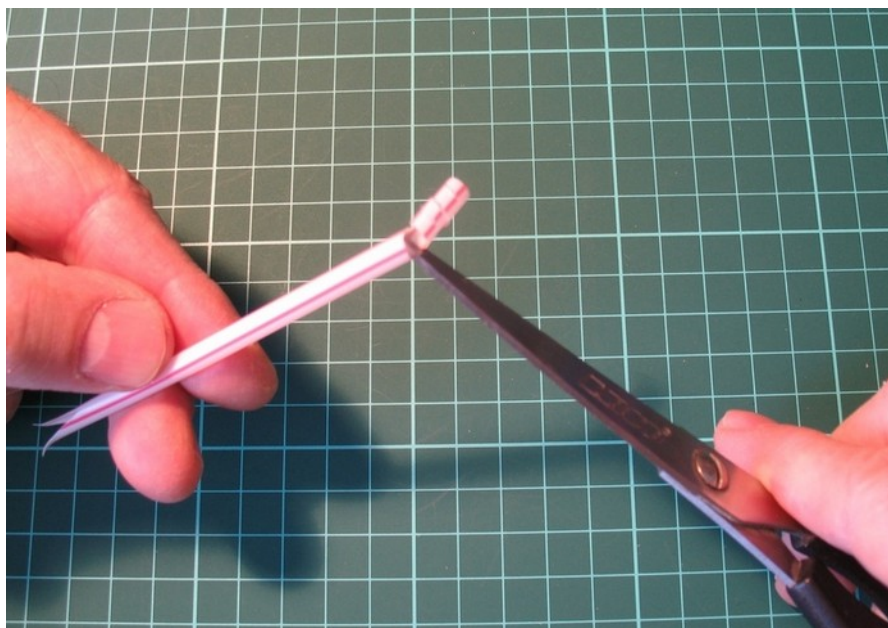


Фото 113

Чтобы заставить звучать игрушку надо взять соломинку губами так, чтобы края «пищика» оказались во рту отстоящими от передних кромок зубов на расстоянии около трех сантиметров. Дуть в соломинку следует с достаточно сильным давлением, тогда спираль на противоположном крае соломинки будет наглядно демонстрировать, как движется воздух в турбулентном потоке.

Литература

- Антоненко С.В. Судовые движители, Издательство ДВГТУ, Владивосток, 2007.
- Бергман П. Загадка Гравитации. Наука. Москва. 1969 Bergmann G. The riddle of gravitation. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. Издательство иностранной литературы. 1953.
- Галилео Г. Избранные труды в двух томах. Наука Москва. 1964.
- Геронимус Я.Л. Теоретическая механика Наука. 1973.
- Герц. Г. Принципы механики изложенные в новой связи. Издательство академии наук. Москва. 1959.
- Гильберг Л. А. "Покорение неба"- «Знание», Москва, 1994.
- Григорян А.Т. Механика от античности до наших дней. Наука. Москва. 1974.
- Гришин Декарт. Р. Избранные произведения. Государственное издательство политической литературы. Москва. 1950.
- Дорфман. Я.Г. Всемирная история физики. Наука. 1974.
- Дуков В.М. Электродинамика. Высшая школа. Москва. 1975.
- Зубов В. П. Леонардо да Винчи. 1452-1519, М.: Наука, 2008.
- Иванов Е.Н. Теория групп и некоторые ее приложения в физике. Москва. МИЭТ.
- Ильина О.В, Бандорин В. Г. История создания автоматизированных механизмов и производств. Гоу ВПО Санкт-Петербург, 2008.
- Классики естествознания, Оптика, Гос. издательство, Ленинград, 1927.
- Левантовский В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. Наука. 1980.
- Мах. Э. Механика. Историко-критический очерк ее развития. Редакция журнала «Регулярная и хаотическая динамика». Ижевск. 2000
- Михал С. Вечный двигатель вчера и сегодня, Москва, Мир, 1984 г.
- Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Москва. Наука. 1989.
- Ньютон И. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях изгибаниях и цветах света. Государственное издательство Ленинград. 1927.
- Паневин И. Г. и др. Космические ядерные ракетные двигатели, Знание, Москва, 1978.
- Спасский Б. И. История физики. М.: Высшая школа. 1977.
- Смыслов В. В. Гидравлика и аэродинамика. Киев. Издательское объединение «Вита школа. 1979
- Пергаментъ О. Я. Галилео Галилей, его жизнь и научная деятельность, Москва, Гросман и Кнебель. 1897.
- Перельман Я. И. Занимательная механика. Главная редакция научно - популярной литературы. Москва. Ленинград. 1937.
- Перельман Я. И. Занимательная физика. Триада-Литера. Москва. 1994.
- Пуанкаре А. Лекции по небесной механике. Наука. 1965.
- Розенберг Ф. История физики. Государственное технико-теоретическое издательство. Москва. 1934.
- Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. / Фейнман Р. Лейтон Р. Сэндс М. Издательство «Мир».
- Хайкин. С.Э. Физические основы механики. Наука. Москва. 1971.
- Чекалин С.В. Транспорт будущего, Знание, Москва, 1983.
- Bissell C. C. History of Automatic Control. Springer handbook of Automatio, 2009.
- Orear J. Physics. Macmillan Publishing Co., Inc. New York. 1979
- Rogers. E. M. Physics for the inquiring mind. Princeton University Press. 1966/